TEHNOLOGII CALITATE MAȘINI MATERIALE

4

PROGRES TEHNIC

- **CONCEPTE ȘI STRATEGII**
  - Inovația în tehnică. Logica inventării
  - Primul veac al noii ere
- **MODERNIZAREA FABRICAȚIEI ȘI PRODUSELOR**
  - Cercetări științifice și realizări practice
  - Stadiul tehnicii roboților
- **MAȘINI, UTILAJE, SDV-URI**
  - Robocare și translatoare
  - Sisteme flexibile de fabricație
  - Golirea politropică a unui volum constant
- **MATERIALE. UTILIZARE, RECICLARE, ÎNLOCUITORI**
  - Materiale și înlocuitori în construcția de mașini
  - Noi sortimente de lubrifianți
  - Betonul în construcțiile de mașini
- **TEHNOLOGII DE MARE EFICIENȚĂ ECONOMICĂ**
  - Turnarea cu modele gazificabile
  - Fizica și prelucrările neconvenționale
  - Prelucrarea electroerozivă cu electrozi din aluminiu
  - Aspecte tribotehnologice la rectificare
- **INGINERIA CALITĂȚII. FIABILITATE**
  - Metode de control și diagnosticare
- **ACTUALITĂȚI TEHNICO-ȘTIINȚIFICE**

TM CM

Scanned with OKEN Scanner

TEHNOLOGII CALITATE MAȘINI MATERIALE

EDITURA TEHNICĂ
București, 1988

Scanned with OKEN Scanner

Autorii materialelor publicate în acest volum:

FLORIN TĂNĂSESCU
VITALIE BELOUS
LAURENȚIE SOFRONI
ION CHIRA
IOAN MĂRGINEAN
LUMINIȚA RADCENCO
VSEVOLOD RADCENCO
ALEXANDRU DORIN
GEORGE ENCIU
MIHAI ȘTEFAN TEODORESCU
CONSTANTIN ISPAS
MIRCEA BALCU
GABRIEL POPOVICIU
CONSTANTIN NEDELCU
ION ILIESCU
CAROL MANIȚIU
DUMITRU MOCANU
FLOREA OPREA
MIHAI TEODORESCU
NICOLAE LAȘCU SIMION
NICOLAE OANCEA
IOAN MARINESCU
SORIN TABACU
VICTOR NASUI
GABRIELA CRIȘAN
RODICA NICOLESCU
DAN RADULIAN
A. M. PETRINA

Colectivul de redacție:

VASILE BUZATU (red. coord.)
MARIA ANTOINETTE IONESCU
PAUL IORDĂNESCU
NICOLAE VOICU

Tehnoredactor: MARIA TRĂSNEA
Coperta: SIMONA DUMITRESCU

Bun de tipar: 05.12.1988
Coli tipar: 13,75
CZ: 621.7+9 : 9 : 62—1 : 66

Tiparul executat sub com. 396/1988, la Întreprinderea Poligrafică „Crișana" Oradea, str. Leontin Sălăjan nr. 105.
Republica Socialistă România

Cuprins

I. **Concepte şi strategii de introducere a tehnologiilor moderne** 5

1. Inovaţia în tehnică şi progresul industrial (Florin Tănăsescu) 6
2. Progrese în logica inventării (Vitalie Belous) 20
3. În primul veac al noii ere. Note de lectură (Ion Iliescu) 28

II. **Modernizarea tehnologiilor şi produselor** 33

4. Cercetarea ştiinţifică actuală în tehnologia construcţiei de maşini (Gabriela Crişan) 34
5. Din realizările institutelor de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică 36
6. Stadiul tehnicii roboţilor în unele ţări avansate (A. M. Petrina) . . . 48

III. **Maşini, utilaje şi SDV-uri. Proiectare, construcţie, tipizare** 55

7. Robocarele sistemelor flexibile de fabricaţie (Alexandru Dorin şi George Enciu) 56
8. Procedee noi de manipulare şi stocare în depozite cu translatoare (Sorin Constantin Tabacu) 72
9. Tendinţe în producerea şi utilizarea sistemelor flexibile de fabricaţie („Problemî Maşinostroenia i Avtomatizaţia" — CAER) 79
10. Procesul ireversibil nestaţionar de golire (evacuare liberă) politropică a unui spaţiu de volum constant (Vsevolod Radcenco şi Luminiţa Radcenco) 84

IV. **Materiale. Elaborare, utilizare, reciclare, înlocuitori** 99

11. Perspective ale noilor materiale şi ale înlocuitorilor în construcţia de maşini (Rodica Nicolescu, Dan Radulian) 100
12. Noi sortimente de lubrifianţi pentru industrie (Victor Năsui) 109
13. Betonul-material utilizabil în construcţia de maşini-unelte (Constantin Ispas, Mircea Balcu, Gabriel Popoviciu, Constantin Nedelcu) 113

V. **Tehnologii industriale de mare eficienţă economică** 125

14. Stadiul turnării cu modele gazificabile (Laurentie Sofroni, Ion Chira, Ioan Mărginean) 126
15. Implicarea fizicii în procedeele neconvenţionale de elaborare şi prelucrare a metalelor şi aliajelor (Florea Oprea, Mihai Teodorescu, Nicolae Oancea) 154
16. Utilizarea electrozilor-sculă din aluminiu la prelucrarea electroerozivă a oţelului (Carol Maniţiu) 163
17. Aspecte tribotehnologice ale procesului de rectificare cu discuri diamantate (Ioan D. Marinescu) 169

Scanned with OKEN Scanner

VI. **Ingineria calității. Fiabilitate** 179

18. Metode de control și diagnosticare (Mihai Ștefan Teodorescu, Nicolae Lașcu Simion) 180

VII. **Actualități și informații tehnico-științifice** 209

19. A III-a conferință internațională de rectificare (Ioan D. Marinescu) . 210
20. Zece ani de activitate a Comisiei Centrale de Tensometrie (Dumitru Remus Mocanu) 212
21. Simpozionul „Aplicații ale tensiometriei în construcția de mașini", Reșița, 20—24 mai 1988 (Dumitru Remus Mocanu) 215
22. Scurte informații tehnice 217
23. „Elemente finite și de frontieră cu aplicații la calculul organelor de mașini" (recenzie de Dumitru Remus Mocanu) 220

Scanned with OKEN Scanner

I

CONCEPTE ȘI STRATEGII DE INTRODUCERE A TEHNOLOGIILOR MODERNE

1

Inovația în tehnică și progresul industrial

Prof. dr. ing. *Florin Teodor Tănăsescu*
Institutul de Cercetări pentru Industria Electrotehnică

1. Probleme generale

Sîntem contemporanii unei lupte fără precedent în viața industrială, al cărui progres este determinat, în principal și într-o proporție mereu mai înaltă, de inovare.

Sigur că și în perioadele trecute inovarea a jucat un rol însemnat în dezvoltarea progresului tehnic, în modernizarea procesului de producție, cu acțiuni binefăcătoare asupra condițiilor de viață, asupra progresului societății. Ceea ce se întîmplă astăzi, dacă ne gîndim la „semnalele" sesizate în ultimele două decenii și previziunile asupra viitorului făcute în prezent, cînd în întregime filozofia statelor mari se bazează pe „desprinderea tehnologică", promovînd o inovație întinsă la extrem, este un fenomen mai complex și necesită o anumită aprofundare. Se prefigurează deja, în ultimii ani, o serie de acțiuni vizînd amplificarea procesului de cercetare și a mijloacelor ce îi sînt afectate: investițiile, prioritare spre anumite ramuri; politica de utilizare rațională a resurselor; dezvoltarea unor domenii noi dominate, mai puțin de consum de materiale, dar cu grad înalt de prelucrare a lor și cu conținut de inteligență mai mare.

Previziunea lui Servan Schreiber că dezvoltarea viitoare a societății se va baza pe nisip (tehnologia siliciului) și inteligență (dezvoltarea microelectronicii) se adevereşte prin tendințele ce se sesizează în industria de componente electronice, gradul lor de pătrundere în celelalte sectoare industriale și ponderea pe care aceasta o reprezintă în volumul valoric industrial al țărilor dezvoltate.

Programele de cercetare propuse de țările puternic industrializate: „SDI" (sistemul de apărare strategică la americani), „Eureka" (la o serie de țări europene), „Frontierele Umane" (la japonezi), „Programul complex" (la țările membre CAER) — chiar dacă au motivații politice și finalitate cu totul diferite — se bazează, în cel mai înalt grad, pe inovare și pe transferul tehnologic rapid a acesteia în procesul industrial, avînd drept scop menținerea unor poziții avansate în competiția tehnologică și economică internațională, cu implicații majore asupra progresului tehnic și social, asupra standardului de viață și a relațiilor economice mondiale.

Autorul nu-și propune să dea „o cheie" pentru probleme de o asemenea complexitate: intenția sa este de a sesiza unele tendințe ce apar în lume, în special cele legate de procesul de inovare, de unde și posibilitatea

Scanned with OKEN Scanner

de a reține o serie de elemente ce pot fi utile și în politica economică de urmat pentru o țară în curs de dezvoltare.

O politică orientată puternic spre inovare, cu folosirea integrală a potențialului creativ și tehnic de producție, prin revitalizarea fundamentală a procesului de inovare, poate evita o pierdere a cursei în competiția internațională, poate conduce la promovarea unor sectoare care să poată oferi și altceva decît produse standard, aflate în viitor la periferia cererilor și deci și a eficienței economice. Tradiția în inovare, dovedită în numeroase domenii ale științelor exacte sau alte naturii, personalitatea unor deschizători de drumuri, precum au fost A. Saligny, H. Coandă, Tr. Vuia, Gh. Constantinescu, C. Nenițescu, I. Cantacuzino, Șt. Odobleja, Șt. Procopiu, C. Budeanu, R. Rădulet, A. Avramescu ș.a., dovedesc că există creat climatul și predilecția poporului nostru spre inovare în domenii pretențioase, inclusiv cele care, într-o concurență internațională viitoare, pot asigura succesul unor exporturi.

Iată de ce, în cele ce urmează, tratînd fenomenul larg al inovării într-o societate modernă, se va încerca să se accentueze și asupra unui element ce poate avea un rol esențial în transferul tehnologic, și anume brevetul și proprietatea industrială asupra rezultatului științific ce îi poate fi asociată.

2. Dezvoltare și progres tehnic prin inovare

În condițiile trecerii României într-o fază nouă a dezvoltării sale, dominată de un puternic caracter intensiv, realizarea saltului tehnologic în economia noastră națională impune existența unei strategii proprii a dezvoltării tehnologice care să asigure o concentrare puternică a forțelor umane și materiale de care dispunem în domeniul creației tehnico-științifice, în vederea realizării perfecționărilor tehnologice necesare punerii în valoare a resurselor naturale — inclusiv a celor cu conținut activ redus — creșterii producției și a productivității muncii, reducerii consumurilor de materii prime, materiale și energie, ridicării nivelului calitativ al produselor, implicit creșterea gradului lor de competitivitate, în condițiile unor cheltuieli de producție tot mai raționale.

Această strategie își găsește exprimarea concretă în „Programul directivă de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și introducere a progresului tehnic în perioada 1981—1990 și direcțiile principale pînă în anul 2000", cercetarea științifică trebuind să devanseze cu cel puțin cinci ani activitatea economică pentru a oferi, din timp, soluții concrete la problemele ridicate de dezvoltarea diferitelor domenii ale societății noastre, soluții ce vor putea fi găsite doar în condițiile unei corelări judicioase a eforturilor în cercetarea fundamentală și cea aplicativă ca verigi inseparabile ale progresului tehnico-științific. Însăși noțiunea de progres tehnico-științific, ca proces unitar, apare ca un rezultat firesc al întrepătrunderii fenomenului științific și tehnic cu progresul economic și social contemporan.

Progresul tehnico-științific impune însă, așa cum sublinia secretarul general al partidului, tovarășul Nicolae Ceaușescu, „o gîndire mai îndrăzneață, mai revoluționară în știință", deoarece numai așa este posibilă stăpînirea și folosirea uriașelor descoperiri care au loc în lume, în scopul progresului societății noastre socialiste și al științei și tehnicii în general.

Scanned with OKEN Scanner

Această gîndire îndrăzneață și creatoare presupune însă o activitate profund novatoare, activitate care trebuie să se dezvolte continuu, plecînd de la necesitățile societății noastre, corelată strîns cu posibilitățile de care dispunem. Prin urmare, progresul tehnico-științific impune dezvoltarea unei activități novatoare care să aibă un caracter permanent, conștient și orientat.

Inovația în știință, înțeleasă în sensul ei cel mai larg de activitate novatoare generatoare de soluții originale, se materializează pe trei planuri, aparent diferite, reprezentînd de fapt, manifestări de nivel diferit ale gîndirii creatoare în știință și tehnică, constituind faze ale unui proces continuu de creație, și anume:

— *descoperirea științifică* — respectiv stabilirea unor legi necunoscute, proprietăți sau fenomene din lumea materială, nedefinite încă, dar existente în mod obiectiv, reprezentînd, de regulă, rodul activității de cercetare fundamentală;

— *invenția* — respectiv soluția tehnică dată unei probleme caracterizată prin creativitate, noutate și progres tehnic în raport cu stadiul mondial al tehnicii, precum și prin aplicabilitate, cu efecte pozitive pentru societate;

— *inovația* — respectiv soluția tehnică dată unei probleme caracterizată prin noutate și progres tehnic relativ (pe plan național) și care, de asemenea, poate fi aplicată cu efecte pozitive pentru societate.

Inovația reprezintă categoria cea mai numeroasă și răspîndită, rezultată din activitatea novatoare în știință și tehnică, cu pondere mare în progresul tehnic general. Aceasta deoarece nu numai soluțiile înregistrate ca atare (brevetate) se încadrează în această categorie, ci și cele care sînt realizate și aplicate în mod eficient, fără a fi înregistrate, din diverse motive (necunoaștere, lipsă de timp pentru formalități, comoditate etc.). Inovația este categoria care conferă activității novatoare caracter de masă.

În categoria inovațiilor pot fi încadrate și rezultatele lucrărilor de cercetare și proiectare efectuate pentru industrie, introduse efectiv în producție cu rezultate pozitive, chiar dacă acestea nu au fost înregistrate oficial ca inovații, deoarece ele sînt rezultatul unui efort creator orientat spre rezolvarea unor cerințe ale economiei naționale.

Invențiile și inovațiile, ca rezultat al activității creatoare în știință și tehnică, sînt astăzi unanim recunoscute ca fiind elemente determinante ale progresului tehnic, cu condiția „să fie strîns legate de economia țării, pentru a putea constitui o adevărată industrie de cunoștințe“ [1].

Invenția și inovația reprezintă forma concretă sub care se materializează cercetarea științifică, progresul tehnic și, în mod special, progresul industrial, transpunîndu-se pe plan economic prin cîteva căi principale, cum sînt:

— produsele noi, produsele perfecționate sau înlocuitorii cu calități superioare față de cele existente;

— tehnologiile noi sau perfecționate, care permit obținerea de produse calitativ superioare, cu aceleași cheltuieli de producție sau cu cheltuieli și consumuri de materii prime, materiale și energetice mai reduse;

— punerea în valoare a materiilor prime existente, în special a celor cu conținut activ scăzut și creșterea, în general, a gradului de prelucrare;

— mecanizarea, electrificarea, automatizarea, robotizarea și chimizarea proceselor de producție, ceea ce se traduce prin ridicarea gradului de înzestrare a forței de muncă;

Scanned with OKEN Scanner

— introducerea informaticii în conducerea proceselor industriale, în activitatea economico-financiară, în pregătirea și aplicarea deciziilor și în difuzarea largă a rezultatelor cercetării tehnico-științifice.

Putem afirma, pe bună dreptate, că progresul industrial se transpune pe plan economic prin produse și tehnologii noi, oricare dintre căile redate mai sus îmbrăcînd, în cele din urmă, unul din aceste două aspecte.

Din punctul de vedere al produselor, este foarte clar că oricare din acestea, în condițiile în care prezintă noutate și sînt superioare tehnic și calitativ celor cunoscute, pot constitui obiectul unor brevete de invenție, prin intermediul cărora sînt transformate în marfă și sînt transferate în industrie sau economie în general, în același timp exercitîndu-se un control permanent și eficace asupra folosirii tehnicii brevetate.

Eficiența transferului de produse* sub protecția brevetelor de invenție este atestată de creșterea vertiginoasă în timp a ponderii produselor brevetate pe piață, în raport cu cele nebrevetate. Astfel, spre exemplu, dacă în anul 1920 volumul produselor protejate prin brevete reprezenta jumătate din volumul exportului mondial, în anul 1950 acest volum a crescut la 3/5, în anul 1962 la 3/4, iar în anul 1970 ajunsese deja la 4/5 din totalul exporturilor și, bineînțeles, că în prezent ponderea acestora este și mai mare!

Dacă din punctul de vedere al produselor noi, al relației produs nou — brevet de invenție, ca mijloc de transfer al progresului tehnic în industrie, lucrurile par mai clare, această relație este ceva mai complexă din punctul de vedere al tehnologiei.

Tehnologia, potrivit unei definiții mai larg acceptate [2], reprezintă „cunoașterea procedeelor de prelucrare a materiilor prime, a proceselor de producere a mărfurilor și de efectuare a serviciilor". Noțiunea de tehnologie a cunoscut însă în timp formulări diferite, încercînd, în fiecare etapă, să surprindă noile elemente care să o completeze. Astăzi, spre exemplu, prin tehnologie se înțelege, în egală măsură, „știință a politicii industriale [3] sau, după Mihai Drăgănescu, „mijloc sau capacitate de a realiza o anumită activitate" [4]. Oricare dintre definiții sugerează conținutul noțiunii de tehnologie, care în fond se referă la:

— realizări tehnico-științifice concretizate în procedee și metode noi, care sînt perfect brevetabile, reprezentînd cea de-a doua mare speță de invenții brevetabile, după produsele noi;

— procedeele și metodele perfecționate, de tip inovații, care, deși nu sînt brevetabile, datorită lipsei noutății absolute, prin numărul lor mare și, mai ales, prin legătura lor directă cu nevoile tehnice și economice ale locului unde apar, au o influență covîrșitoare asupra promovării continue a progresului tehnic în industrie;

— cunoștințele tehnico-științifice, economice și organizatorice de tipul „know-how", care au la bază experiența cercetării, proiectării, realizării și aplicării eficiente a unor procedee sau metode brevetabile;

— experiența de producție în realizarea unor anumite produse, inclusiv informații de ordin general, și cele referitoare la organizarea, conducerea și desfacerea producției.

Transferul în producție de tehnică nouă și de tehnologii, în afară de faptul că reprezintă elementul de bază al progresului industrial, este în

* Noțiunea de produs trebuie înțeleasă în sensul cel mai larg al ei, adică: mașini, mecanisme, instalații, aparate, agregate, utilaje, scule, dispozitive, părți componente ale acestora, materiale, aliaje, substanțe obținute prin tehnici nucleare, produse chimice etc.

Scanned with OKEN Scanner

același timp una dintre formele cele mai rentabile de valorificare a tehnicii noi, concretizată în utilaje, instalații, mașini sau tehnologii, cu condiția ca acestora să li se asigure mai întîi protecția prin brevete. Aceasta deoarece transferul de tehnică nouă și tehnologii, în scopul progresului economic și social, este legat, de regulă, de importul de echipamente industriale, de produse intermediare și de asistență tehnico-organizatorică, menite să facă posibilă punerea în aplicare a tehnicii transferate.

Practica a demonstrat că în țările în curs de dezvoltare care au achiziționat tehnici noi sau tehnologii, în scopul ridicării lor economice, valoarea importurilor suplimentare de tehnică și asistență pentru aplicarea în timp a tehnologiilor respective a fost considerabilă. Astfel, de exemplu, în Peru asemenea livrări au avut valori cu 20 % pînă la 300% mai mari decît valoarea tehnicii achiziționate; în Columbia, totalul unor asemenea costuri pentru unele tehnici a fost de șase ori mai mari decît volumul redevențelor plătite, iar în Etiopia importurile de bunuri legate de achiziționarea unor noi tehnologii au avut, în medie, suprafacturări de 50% pe ansamblul industriei prelucrătoare [5].

Și la noi se pot menționa o serie de licențe achiziționate care, mult timp după transferarea lor în industria românească, au necesitat importuri de materiale sau seturi de componente și piese — impuse de tehnologia în speță — care au grevat, o bună perioadă de timp, balanța externă de plăți, în sensul că au persistat serioase importuri reziduale.

Aceste exemple pot fi luate atît din industria automobilului și cea a motoarelor diesel navale, cît și din industria de componente electronice. Mai mult chiar, s-au sesizat numeroase exemple de livrări de utilaje care nu au putut funcționa decît în condițiile asigurării unor materiale strict specializate pentru tehnica în speță (echipamente tehnologice în industria chimică, echipamente de vopsire, mașini electrostatice de copiat și altele).

Cele de mai înainte ne permit să constatăm că sensul transferului de tehnică și tehnologii este dinspre țările dezvoltate spre cele în curs de dezvoltare sau, și mai precis, dinspre țările foarte dezvoltate spre cele în curs de dezvoltare.

Într-o analiză de referință a anilor 1976 [6], analizînd situația brevetelor valabile în lume la acea dată, se constata că acest flux rezulta implicit. Astfel, din circa 3,5 milioane de brevete în vigoare în întreaga lume — singurele care exercitau efectul juridic de monopol de exploatare — 94% aparțineau țărilor dezvoltate industrial. Din cele 6% care fuseseră acordate în țările în curs de dezvoltare, 5/6 aparțineau unor titulari (firme străine) în țări puternic industrializate și numai 1/6 unor titulari (firme) din țările în curs de dezvoltare, ceea ce reprezintă doar 1% din indicele mondial de brevete în vigoare. Rezultă, evident, că aceste brevete pot avea ca efect blocarea cercetărilor proprii în țările respective și impunerea importului de tehnologii în condițiile dictate de cei bogați și puternici. De aici și necesitatea dezvoltării continue a capacității proprii de creație — cercetare — ca mijloc eficient de luptă contra înrobirii tehnologice.

Cu atît mai complexă este situația astăzi cînd numărul cererilor de brevete pe plan mondial este în continuă creștere, așa cum se semnala într-o interesantă lucrare recentă [7]: pe parcursul a 35 de ani numărul cererilor de brevete aproape s-a triplat (tabelul 1.1).

O analiză a acestor date evidențiază cîteva lucruri interesante. Mai întîi că an de an numărul de cereri de brevete crește continuu, semnalîndu-se două momente: cincinalul 1960—1965 și 1980—1985, cînd problemele grele ale economiei mondiale au cerut mai multă inovare pentru

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 1.1.

Număr de cereri de brevete și acordări de brevete

Anul	Număr cereri	Număr brevete acordate
1950	411 588	161 594
1955	410 541	216 187
1960	494 519	278 045
1965	722 196	374 459
1970	819 279	420 416
1975	795 913	412 119
1980	821 690	422 969
1985	1 202 391	519 425

a ieși din situațiile critice. De asemenea, se constată că raportul între numărul de brevete acordate raportat la numărul de brevete înregistrate cunoaște creșteri continue, ajungînd ca circa jumătate din cereri să se transforme în brevete.

3. Brevetul de invenție, un indicator al potențialului novator

Numărul de brevete înregistrat de o țară poate exprima, la un moment dat, potențialul său novator. După o statistică efectuată în R.F.G., din 760 000 brevete înregistrate în străinătate în perioada 1976—1981 într-un domeniu de vîrf — al construcției de mașini — distribuția înregistrărilor plasează, în ordine: S.U.A., R.F.G., Japonia, Anglia, Franța (fig. 1.1).

Dacă acestea reprezintă brevetele înregistrate în alte țări decît în țara de origine, ne dăm seama de eforturile care se fac, peste tot în lume, pentru a proteja rezultatul științific și că numărul de brevete înregistrate pe plan național este mult mai ridicat.

Semnificativă este politica japoneză și americană în materie de brevete, în sensul utilizării sistematice a drepturilor pe care le conferă proprietatea industrială și care decurg din aceasta, realizînd „Pachete de brevete", care să acopere serii întregi de produse, anihilînd astfel orice posibilitate de participare a altor întreprinderi în această competiție.

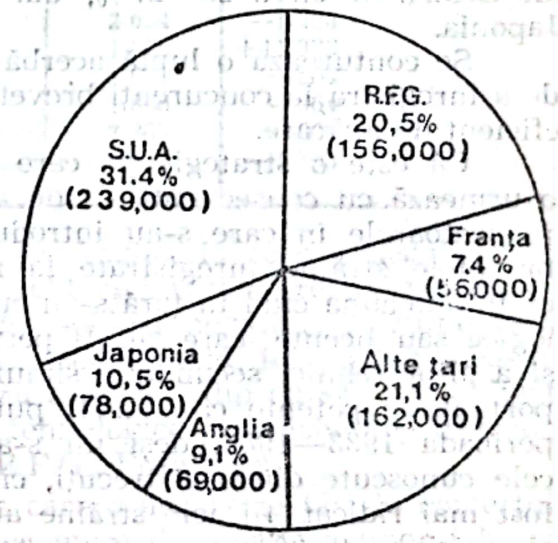


Fig. 1.1. Brevete înregistrate în străinătate în perioada 1976—1981.

Se poate arăta astfel că perioada în care japonezii au pătruns masiv pe piața europeană cu mașinile-unelte cu comandă numerică (anul 1970) coincide cu dublarea numărului de patente pe care aceștia le-au înregistrat în acest domeniu, ajungînd pe primul loc (22,7%), dominînd și controlînd o bună perioadă de timp piața de mașini-unelte inteligente, de altfel cum

au făcut-o, în mare măsură, și în domeniul tehnicii automobilului, unde la sistemele pentru reglarea și comanda motoarelor cu ardere internă deținеau, în anul 1980, 23,4% din totalul de patente și 28,9% din numărul de patente referitoare la reglarea injecției combustibilului.

Chiar dacă bilanțul brevetelor și licențelor nu reprezintă un criteriu unic pentru definirea exactă a dezvoltării tehnologice a unui stat, o analiză a acestuia poate da indicații privind politica urmată de state și tendințele ce se desprind pentru viitor.

Studiul principalelor domenii în care s-au înregistrat, în ultimii ani, un număr în creștere de brevete arată că acestea sînt: tehnica roboților, telecomunicațiile, calculatoarele și tehnica automatizărilor, genetica și biotehnologiile, tehnica aerospațială, tehnica polimerilor, industria farmaceutică și a medicamentelor, lăsînd să se întrevadă că în aceste sectoare de vîrf vor avea loc în viitor și marile mutații industriale, anticipînd chiar „desprinderi" tehnologice ale unor state din rîndul celor dezvoltate. Deja se anticipă, după numărul de brevete înregistrate, direcții probabile în care unele țări vor avea priorități industriale: S.U.A., U.R.S.S., Japonia în domeniul roboților; S.U.A., Japonia, Franța în telecomunicații; Japonia, S.U.A., U.R.S.S., în domeniul calculatoarelor; S.U.A., U.R.S.S., R.F.G., Japonia în domeniul automatizărilor; S.U.A., Franța, R.F.G. în domeniul energeticii nucleare; Elveția, Franța, S.U.A. în domeniul biotehnologiilor; S.U.A., Franța, R.F.G., Elveția, U.R.S.S. în domeniul polimerilor; Elveția, S.U.A., Franța, Japonia în domeniul vaccinurilor și interferonului [8].

Europa, continentul din care au „plecat" de-a lungul anilor mari descoperiri, este astăzi asediată, de numărul brevetelor străine din țări neeuropene ce cer recunoaștere. Ca un exemplu, dacă la Oficiul german de brevete se primeau din Europa circa 65,4% din înregistrări, în anul 1982 procentul nu mai reprezenta decît 41,4%, cu înregistrări constante ale S.U.A. de circa 25—27%, dar cu 31,5% (față de 7% anterior) din Japonia.

Se conturează o luptă acerbă din partea țărilor puternic dezvoltate de a înregistra la concurenți brevetele lor, acest act constituind un mijloc eficient de apărare.

Că este o strategie pe care unele țări exportatoare de tehnologii o urmează cu consecvență — de a bloca apariția unor rezultate proprii în sectoarele în care s-au introdus noile tehnici — se verifică și din brevetele străine înregistrate la noi. Dintr-o analiză făcută, a reieșit că întotdeauna cînd în țară s-au cumpărat o serie de echipamente tehnologice sau licențe care ar fi permis realizarea prin concepție proprie și a altor tehnici secundare, simultan s-au înregistrat și un număr important de patente care ar fi putut bloca aceste dezvoltări. Astfel, în perioada 1983—1986, deși nu s-au mai achiziționat alte licențe decît cele cunoscute din anii trecuți, cînd numărul de patente înregistrate a fost mai ridicat, firmele străine au brevetat în domeniul mecanicii fine și opticii peste 96 patente, în metalurgie 58, în chimia minerală, îngrășăminte și ierbicide 619, în transporturi și manipulări 41, în agricultură și industria alimentară 77, în foraje și exploatări miniere 44. După cum se vede, o presiune puternică menită să îngreuneze procesul de inovare bazat pe o concepție proprie de dezvoltare mai rapidă a unei industrii. Chiar și în aceste condiții, țara noastră a reușit în ultimii ani să dezvolte soluții de înalt nivel, datorită unei forțe de concepție de mare valoare și a unei capacități de a prevedea unele tendințe. Eforturile viitoare vor trebui însă dirijate nu numai spre creșterea numărului de

Scanned with OKEN Scanner

patente și înregistrarea lor în țară, lucru cu totul justificat, ci și spre crearea condițiilor de valorificare a lor, o industrializare rapidă putînd conduce la efecte economice deosebite.

4. Comerțul cu licențe

Principala formă de realizare a transferului de tehnică și tehnologii, această activitate reprezintă una dintre secțiunile relațiilor economice internaționale cu dezvoltarea cea mai dinamică, care favorizează circulația tehnicilor și tehnologiilor brevetate. Dacă, în anul 1960, încasările din comercializarea cunoștințelor tehnico-științifice prin intermediul contractelor de licență reprezentau circa 0,9 miliarde dolari, în 1970 această sumă s-a ridicat la 2,4—2,7 miliarde dolari, s-a triplat în 1980 și tinde să ajungă în 1990 la 8—10 ori valoarea realizată în anul 1970.

O statistică recentă, referindu-se la un grup de state puternic industrializate, arată cît de ridicate sînt cheltuielile realizate de acestea pentru brevete, invenții, drepturi de autor pentru anul 1980 (tabelul 1.2).

Tabelul 1.2

Încasările și cheltuielile unor țări industrializate în transferul de brevete, în anul 1980, în mil. DM

	Încasări	Cheltuieli	Sold
R.F.G.	1 101	2 624	—1 523
S.U.A.	12 698	1 275	+11 323
Anglia	2 185	1 681	+504
Franța	902	1 866	—964
Italia	1 565	2 365	—800
Japonia	643	2 411	—1 768

Se observă, că exceptînd S.U.A. și Anglia, la care încasările sînt mai mari decît cheltuielile, rezultînd solduri pozitive, restul țărilor — R.F.G., Franța, Japonia și Italia — au solduri negative. Rezultă deci, cît se poate de clar, că inovarea trebuie făcută rapid, iar pentru aceasta, oricît de dezvoltat ar fi un strat, pentru a nu ieși din cursă, este obligat să apeleze, de multe ori, la transferuri tehnologice prin licențe și brevete, așa cum o face spre exemplu Japonia, R.F.G., Franța ș.a.

Explicația ponderii importante pe care o au aceste țări în comerțul mondial de licențe constă în capacitatea mare de creație a unor tehnici și tehnologii, dintre care cea mai mare parte sînt brevete, iar în cadrul realizărilor noi nebrevetate (inovațiilor), acestea, în cea mai mare parte, sînt legate de tehnici sau tehnologii brevetate anterior, deci puse indirect sub protecție.

Pentru a demonstra acest aspect este suficient să amintim că fiecare dintre principalele șase state capitaliste industrializate (S.U.A., R.F.G., Anglia, Japonia, Italia, Franța) înregistrează, în celelalte cinci state, anual, circa 20 000—25 000 cereri de brevete.

Scanned with OKEN Scanner

Deși nu este în concordanță cu nevoile de dezvoltare și progres, un observator atent poate remarca că transferul de tehnică și tehnologie se practică, în primul rînd, între țările dezvoltate industrial, cărora le revine 3/4 din valoarea comerțului internațional cu licențe, ponderea țărilor în curs de dezvoltare nedepășind 1/4 din această valoare. Această situație demonstrează actualitatea și importanța instituirii noii ordini economice, pentru care militează cu deosebită vigoare țara noastră, deoarece accesul țărilor în curs de dezvoltare la noile tehnici și tehnologii este limitat de condițiile economice deosebit de grele în care se practică transferul acestora.

Japonia, care a reprezentat un exportator tradițional de cunoștințe tehnico-economice în țările în curs de dezvoltare, și-a orientat, începînd cu anul 1968, exportul de licențe spre țările dezvoltate industrial. În anul 1973, de exemplu, 60,4% din exportul de licențe al Japoniei revenea S.U.A. și Europei de Vest, manifestare ilustrativă a așa-numitului „miracol japonez".

Există o legătură strînsă între potențialul de creație tehnico-științifică exprimat în invenții și inovații și eforturile depuse pentru creșterea activității de cercetare științifică și inginerie tehnologică, cele două state cu balanța pozitivă și comerțul cu tehnică și tehnologie, S.U.A. și Anglia, cheltuind pentru cercetare-dezvoltare circa 3,5% din produsul național brut (S.U.A.), respectiv circa 2,5% (Anglia).

5. Brevetul de invenție și procesul de inovare în țara noastră

Dacă, într-o perioadă de 16 ani (1960—1976), în România s-au înregistrat în total 12 824 cereri de brevete de invenții, într-o perioadă de numai cinci ani, între anii 1977—1981, s-au înregistrat cu 595 cereri de brevete mai mult, adică 13 419 cereri.

În perioada anilor 1983—1986 se remarcă aceeași tendință de creștere — care ar putea fi însă și mai mare — la Oficiul de Stat pentru Invenții din România înregistrîndu-se un număr de 15 149 brevete, dintre care 1 609 aparținînd unor autori și firme din străinătate. Explicația acestei situații constă în faptul că, în perioadele ce au urmat celui de-al IX-lea Congres al P.C.R., întreaga noastră dezvoltare economică și socială s-a bazat, la indicația conducerii superioare a partidului, personal a tovarășului Nicolae Ceaușescu, pe promovarea consecventă și curajoasă a progresului tehnic și științific în toate domeniile de activitate, iar cercetarea științifică și ingineria tehnologică a cunoscut o dezvoltare și o intensificare deosebită (ca bază materială și forță umană), fiind legată strîns de necesitățile concrete și de perspectivă ale dezvoltării economice și sociale a țării.

Dezvoltarea și progresul societății noastre nu s-a mai bazat numai pe importul de tehnică nouă, ci s-a sprijinit puternic pe propria capacitate de creație, care a dat economiei naționale numeroase utilaje, instalații, mașini și tehnologii. Să nu uităm că în această perioadă s-au realizat noi tipuri de nave, mașini-unelte cu comandă numerică, echipamente de foraj terestru și marin, locomotive și vagoane de metrou, instalații chimice complexe, procedee tehnologice speciale în chimie și petrochimie, materiale și oțeluri speciale, componente electronice și mecanice,

Scanned with OKEN Scanner

optice etc., brevetate ca atare în țară și în străinătate și constituind o carte de vizită reprezentativă a forței de concepție și a industriei românești.

Potrivit prevederilor Programului de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și introducere a progresului tehnic pe perioada 1986—1990, activitatea de cercetare va trebui să asigure creșterea substanțială a nivelului tehnic și calitativ al produselor, îmbunătățirea structurii producției și valorificarea tot mai eficientă a resurselor economice, sporirea gradului de competitivitate a produselor românești. Pînă în anul 1990, circa 95% din produsele românești trebuie să fie, din punct de vedere tehnic și calitativ, la nivelul celor existente pe plan mondial, iar cel puțin într-un procent de 2—5% va trebui să dezvoltăm produse cu asemenea parametri tehnici și calitativi care să situeze România în rîndul țărilor cu prioritați.

Cercetarea științifică trebue să asimileze noi materiale și noi sortimente superioare de metale, mase plastice, fibre și alte produse diverse, materiale electrotehnice. O atenție deosebită va trebui acordată electronicii și microelectronicii, asimilării de noi mașini și motoare termice, cu un consum redus de combustibili și carburanți.

Este o realitate faptul că și la noi știința a devenit o latură inseparabilă a producției materiale, care condiționează, în mod direct, progresul tehnic în toate ramurile economiei naționale. Sînt aspecte de bază ale relației cercetare științifică — creație tehnico-științifică materializată în invenții și inovații: numărul și valoarea acestora sînt cu atît mai ridicate, cu cît activitatea de cercetare este mai bine dezvoltată și dotată.

Cu toate că, din punct de vedere numeric și calitativ, s-au făcut progrese importante, nu se poate spune că s-a făcut tot ce este necesar pentru valorificarea tot mai completă a potențialului nostru creator în știință și tehnică.

Este necesar să se acționeze mai perseverent în această direcție, pentru a face ca cercetarea tehnico-științifică din institute și uzine, din catedrele universitare, să-și aducă un aport mai apropiat de posibilitățile sale, la echilibrarea balanței valutare a țării, la creșterea continuă a exporturilor. Aceasta, deoarece transferul de cunoștințe tehnico-științifice prin contracte de licență, stimulează, în general, operațiile de comerț exterior, pentru că deschid calea pentru export de mașini, utilaje, servicii, mijloace de întreținere și piese de schimb, creînd posibilitatea organizării în străinătate a unor unități de montaj și servicii și dinamizează relațiile de cooperare economică cu alte state.

6. Valorificarea soluției originale presupune o temeinică documentare

A se acționa în direcția identificării și valorificării prin brevete de invenții a tuturor creațiilor tehnice originale este o necesitate care presupune, însă, anumite măsuri și, în primul rînd, asigurarea unei baze documentare solide, în special, din literatura de brevete.

Dacă în trecut rolul preponderent în documentarea colectivelor de specialiști îl constituia literatura clasică compusă din cărți și reviste, astăzi, în condițiile ritmului în care se dezvoltă industria și al decala-

Scanned with OKEN Scanner

jului în timp care există între momentul în care apare o nouă soluție tehnică și acela în care ea este publicată, literatura de brevete este sursa potențială și cea mai proaspătă din care se pot extrage soluții de cea mai mare valoare, în măsură să asigure evitarea cercetării unor probleme rezolvate de alții sau găsirea la problemele cercetate a unor soluții originale brevetabile [9, 10].

Creșterea rolului literaturii tehnice din brevete în activitatea de creație tehnico-științifică, în general și în activitatea de cercetare științifică și inginerie tehnologică, în special, se datorește particularităților acestui gen de literatură tehnică.

Ea este „proaspătă" și actuală, descrierea anexată la brevetul de invenție fiind cea mai completă informație cu privire la o soluție tehnică nou apărută într-un anumit domeniu al tehnicii, precedînd cu cel puțin doi ani toate celelalte publicații referitoare la noua soluție; sistematizarea tezaurelor de date, ca și calificarea deosebit de fină a acestora, dau posibilitatea unui acces rapid la o informație tehnică de calitate.

Literatura de brevete conține, de asemenea, un volum mare de informații, deoarece, în toată lumea, descrierea unei invenții trebuie să fie suficient de detaliată pentru ca un specialist să o poată reproduce folosind mijloacele tehnice curente; nu trebuie neglijat să amintim caracterul de informație-unicat-original — pentru cea mai mare parte dintre soluțiile tehnice brevetate, deoarece numai circa 5% din soluțiile tehnice prezentate în descrierile de invenție sînt reluate în cărți, reviste sau publicații de specialitate.

În promovarea progresului tehnic, brevetul permite sesizarea tendințelor de dezvoltare a tehnicii într-un anumit domeniu, deoarece în fiecare nouă descriere de invenție se face mai întîi o prezentare a soluțiilor brevetate anterior, permițînd identificarea cu ușurință a elementelor caracteristice fiecărei noi soluții tehnice brevetate, redate explicit în capitolul „revendicări" al descrierii.

Nu este lipsit de interes să menționăm și faptul că brevetul de invenție dă posibilitatea de a afla extinderea teritorială a protecției unei invenții, prin identificarea brevetelor paralele, lucru deosebit de important la pătrunderea pe o piață.

Una dintre consecințele cele mai importante ale utilizării informării tehnice din brevete, cu repercusiuni economice deosebit de favorabile, o reprezintă scurtarea considerabilă a timpului de rezolvare a unei probleme, respectiv a ciclului cercetare-proiectare-producție. Acest aspect este deosebit de important în condițiile în care, în timpul nostru, în circa trei ani se produc tot atîtea modificări în tehnică și în știință cîte se produceau în circa 30 de ani la începutul secolului nostru, sau în circa 300 de ani în perioada dinainte de Newton.

Scurtarea ciclului de rezolvare-industrializare a unei probleme, indiferent că este vorba de tehnologie sau de produs, permite, celui ce a realizat pentru prima dată acest lucru să stabilească prețuri — așa-numitele prețuri de monopol — care să-i înlăture practic pe concurenți, obligîndu-i la eforturi sporite în activitatea de cercetare-inginerie tehnologică, pentru a supraviețui în noile condiții în care-și propun să realizeze ceva similar.

Perioada de implementare a noilor soluții originale este în prezent sub patru ani, tinzînd spre doi ani, un an sau chiar mai puțin, cum este cazul componentelor electronice specializate, în timp ce principiul

Scanned with OKEN Scanner

fotografierii s-a aplicat în 102 ani, telefonul în 56 de ani, radioul în 35 de ani, televiziunea în 14 ani, iar tranzistorul în cinci ani. Este normal că astfel de ritmuri nu pot fi acceptate astăzi cînd durata medie de viață a unui produs este de circa cinci ani și chiar mai puțin, iar uzarea morală a unei invenții se manifestă într-o perioadă asemănătoare.

În aceste condițiuni, informarea din brevete, cu particularitățile și avantajele ce le oferă, reprezintă un sprijin foarte important în promovarea unor soluții de valoare.

Experiența valoroasă a unui colectiv de cercetare din țara noastră — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică (ICPE) București — pe linia brevetării noilor soluții, apărarea lor în condițiile în care făceau obiectul unui export și documentarea pe bază de brevete introdusă pe calculator și abordabilă la atacarea oricărei noi tematici merită a fi remarcată, tocmai prin deschiderile pe care le poate genera.

Numărul de brevete ce au revenit institutului pentru soluțiile sale este o ilustrare a înțelegerii că brevetul reprezintă cel mai sigur mijloc de protecție a soluției și, totodată, o posibilitate nouă de valorificare superioară la export.

Particularitățile și avantajele informației tehnice din brevetele de invenții au determinat institutul să abordeze acest tip de documente cu ajutorul calculatorului electronic folosind, în acest scop, experiența acumulată în domeniul documentării automate. Este de menționat că primul sistem automat de regăsire a informației în electrotehnică (ARIEL) a fost dezvoltat de către ICPE în anul 1975, utilizînd un calculator ICL-1902 și un program de regăsire „Find".

Pînă în prezent, în magnetoteca ICPE se află înregistrate informații referitoare la peste 1,2 milioane de brevete de invenții românești și străine și există baza necesară pentru efectuarea unei informări documentare selective, practic pentru toate domeniile tehnicii care preocupă unitățile din cadrul Ministerului Industriei Electrotehnice sau alte unități cu profil electric.

În afara fișierului, elaborat prin colaborare cu Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci, anual sînt înmagazinate, prin prelucrare intelectuală directă, circa 8 000 de brevete ce privesc tematica de cercetare a ICPE și a celorlalte unități din sistemul MIEt. Această prelucrare nu se limitează la datele bibliografice din partea de titlu a descrierii de invenție, ci se extinde și asupra unor elemente caracteristice din textul descrierii.

Organizarea activității de identificare, protecție și valorificare a creațiilor tehnice originale care rezultă din munca de cercetare, însoțită de crearea unei baze de informare tehnico-științifică și economică, în care informarea din brevete să ocupe un loc principal, a permis obținerea unor rezultate superioare, care au situat institutul, în ultimii ani, pe primul loc în cadrul concursului organizat în domeniul invențiilor și inovațiilor între unitățile de cercetare din MIEt. Din rîndul institutelor de cercetare științifică, ICPE este în prezent unitatea de cercetare care înregistrează cel mai mare număr de invenții anual (peste 150 brevete anual), realizînd un indice de acoperire cu brevete a temelor de cercetare care se apropie de unitate, fapt ce atestă gradul ridicat de originalitate al lucrărilor noastre de cercetare științifică și inginerie tehnologică.

Scanned with OKEN Scanner

Efectele economice, realizate prin aplicarea în economia națională a invențiilor aparținînd acestui institut, au depășit 750 milioane lei în anul 1987.

7. Concluzii

Tematica abordată, de mare actualitate și complexitate, impune reținerea unor elemente de care trebuie ținut seama în activitatea viitoare:

— inovarea condiționează progresul tehnic, rapiditatea unui transfer tehnologic favorizînd atingerea mai rapidă a unei mutații tehnologice care să asigure un progres tehnic susținut și eficiență suplimentară;

— brevetarea unei soluții nu constituie un act de orgoliu tehnic, ci de necesitate economică, fie pentru apărarea soluției fie — în condițiile lipsei de mijloace tehnice — pentru a o valorifica pe alte piețe;

— dat fiind faptul că unele idei pot depăși nivelul tehnologic al industriei unei țări în curs de dezvoltare și, întrucît timpul scurt în care o idee neaplicată se depreciază, merită a fi pusă în discuție și varianta ofertării sale la export, lucru practicat și de alte țări, chiar dezvoltate;

— experiența unor țări dezvoltate de a-și apăra soluțiile valoroase, brevetînd masiv în țările în care prevăd livrări de produse sau o eventuală concurență, trebuie privită cu atenție și de noi în cazul unor realizări semnificative; în orice caz, o brevetare mai consistentă în alte țări a unor soluții originale dezvoltate în România se impune ca o stringentă necesitate;

— mărirea „pachetului de brevete" de care țara noastră dispune cu patente noi, rezultate din activitatea de cercetare și dezvoltare din institute și industrie, se impune ca o strictă necesitate, pentru a asigura o participare activă a industriei românești la export, justificînd găsirea de mijloace eficiente de stimulare a unei activități vitale și a unor colective ce militează pentru progresul tehnic al economiei românești;

— utilizarea mai largă a fondului documentar de brevete, existent la OSIM și în benzile magnetice de la ICPE, de către toate colectivele de concepție uzinală, învățămînt sau unități de cercetare se impune ca o cerință, în vederea dezvoltării unor soluții viabile, competitive, de înaltă ținută științifică și eficiență economică;

— în anii noștri, se sesizează o ofensivă fără ceremonii din partea țărilor puternic industrializate împotriva noilor țări care își croiesc drum spre o societate industrială, pe baza unei combinații între tehnologia exploatării și exploatarea tehnologiei*, de aici necesitatea de a cunoaște tendințele ce se sesizează, alegerea acelor direcții potrivite, specifice unei dezvoltări rationale care, stăpînite și corect dirijate, pot conduce la valoroase rezolvări într-o societate în care „mintea" și rezultatele gîndirii pot oferi soluții competitive; contribuția țărilor mici în domeniul inovării, în etapa sintezelor tehnologice, în care creativitatea joacă un rol important, poate fi remarcabilă, așa cum istoria tehnicii a dovedit-o cu prisosință.

* Brevetul de invenție fiind arma cu care se pătrunde într-un domeniu, dar se și apără.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. KABAYASCHI, K. Cuvîntare ţinută de K.K., preşedintele firmei Nipon Electric Company la Academia Nationala de Inginerie din S.U.A. la 24.04.1964.
2. * * * Statistics of international transfer of technology. Docum. UNESCO (ECE), Co, 76/CONF 711/6 decembrie 1975, par. 2.
3. * * * Concise Oxford Dictionary. Oxford Clarendon Press, 1984.
4. DRĂGĂNESCU, M. Informatica şi societatea. Bucureşti, Ed. Politică, 1987.
5. MURGESCU, C. Transferul de tehnologie în condiţiile revoluţiei tehnico-ştiinţifice. În lucrarea: „Revoluţia ştiinţifică şi tehnica şi modernizarea factorilor de producţie". Colecţia „Idei contemporane". Bucureşti, Ed. Politică, 1976, p. 181—198. Vezi şi documente ONU TD/B/11/20 (21), (22).
6. * * * UNCTAD Review of international trade and development, 1975, UN, New York, 1976, p. 82.
7. MARINESCU, I. Brevetele de invenţie indicator de penetraţie şi competitivitate în promovarea comerţului exterior. În: Invenţii şi Inovaţii, 1987, vol. XXII, nr. 3, p. 81—89.
8. * * * Inovaţiile, viitorul economiei noastre. Trad. IDT din Innovationen Die Zukunft unserer Wirtschaft, 1983, sept., p. 1—40.
9. MARINETE, L. ş.a. Tendinţe pe plan mondial în domeniul soluţiilor originale. OID-ICIEt, 1986.
10. TĂNĂSESCU, Fl. ş.a. Invenţia brevetabila în activitatea ICPE. În: Electrotehnica, 33 (1985), nr. 7—8, p. 338—349.

Scanned with OKEN Scanner

2
Progrese în logica inventării

Prof. dr. ing. *Vitalie Belous*
Institutul Politehnic Iaşi

Produsul creaţiei tehnice — invenţia — caracterizată prin cele trei atribute de bază, noutatea, aplicativitatea şi superioritatea faţă de soluţiile cunoscute, poate reprezenta sub aspect structural o combinare de elemente cunoscute într-un nou ansamblu, calitativ superior, o extrapolare, prin analogie, a unor soluţii şi principii de la domeniile învecinate, o nouă aplicare a legilor şi descoperirilor din domeniul ştiinţelor fundamentale, matematicii, fizicii, chimiei, ciberneticii etc.

Invenţiile care au la bază o structură care reprezintă o combinare de elemente cunoscute într-un nou ansamblu calitativ superior, precum şi invenţiile care se referă la noi forme, noi curbe, noi suprafeţe ale organelor de maşini şi construcţiilor, pot fi realizate pe cale logică — analitică — deductivă, prin metodele specifice calculului optimal.

Spre deosebire de celelalte tipuri structurale de invenţii în a căror elaborare joacă un rol determinant fantezia, imaginaţia, procesele combinatorice de la nivelul subconştientului, în cea mai mare parte nelămurite încă şi avînd un caracter dominant spontan şi pentru care psihologia creaţiei nu poate oferi decît mijloace de stimulare şi favorizare, iluminarea rămînînd guvernată încă în mare măsură de hazard, invenţiile combinative (a căror caz particular îl reprezintă cele bisociative) pot şi trebuie să devină un rezultat al unei activităţi logice, deliberat orientate spre creaţie.

Pentru astfel de invenţii se pot elabora tehnologii logice, care, plecînd de la informare şi sinteza informaţiilor şi formularea şi precizarea pe această bază a temei de creaţie, să conducă în mod forţat la noua soluţie calitativ superioară. Inventica trece în felul acesta din sfera dominant-divergentă a gîndirii, în cea a gîndirii dominant convergente, specifică specialiştilor formaţi.

Pe de altă parte, nu numai invenţiile logic determinate, cu o logică formalizabilă şi transferabilă mijloacelor electronice de calcul (a căror productivitate de baleiere a mulţimii soluţiilor posibile este infinit mai mare decît cea a creierului uman), interesează pe inventologi, ci şi invenţiile stimulate prin tehnici şi metode intuitive de creaţie, parţial logificabile şi formalizabile. Din acest punct de vedere, algoritmii căutărilor creative pot fi subîmpărţiţi în conformitate cu clasificarea expusă în cunoscuta monografie redactată sub coordonarea lui A. I. Polovinkin [1] în:

Algoritmi integral formalizaţi, care pot fi concretizaţi direct în programe, în care sînt net delimitate datele de pornire elaborate de om şi

Scanned with OKEN Scanner

rezultatele elaborate de mașină (în rîndul rezultatelor considerîndu-se și lipsa acestora sau prezența unor rezultate inacceptabile de către om).

Metode euristice parțial formalizate-euroritmuri, la care o parte din tehnicile de creație folosite sînt algoritmizate și preluate de către mașină, iar o parte trebuie rezolvate de mintea umană. Astfel de programe umano-mașinizate vor căpăta o largă utilizare în viitorul apropiat.

Metode euristice integral neformalizate-integral intuitive.

Autorii monografiei [1] consideră pe bună dreptate, că pe lîngă *problema principială a posibilității utilizării mijloacelor electronice de căutare* există și o a doua problemă, cel puțin la fel de importantă cu prima, cea a *oportunității folosirii calculatoarelor în procesele euristice.*

Se definește în acest sens noțiunea de *volum de muncă necesar pentru rezolvarea problemei de creație,* pentru a cărei determinare cantitativă trebuie să se cunoască numărul aproximativ de probleme de rezolvat, consumul mediu de timp în rezolvarea unei probleme, incluzînd consumul de timp pentru formalizare, programare și pregătirea informațiilor pentru purtătorii mașinii de calcul, în ipoteza utilizării mijloacelor de calcul și în cea a utilizării în exclusivitate a minții umane (evident în vederea obținerii unor rezultate echivalente).

Dar în aprecierea oportunității folosirii mijloacelor electronice de calcul mai trebuie uneori luați în considerație și alți factori, ca de exemplu, costul utilizării tehnicii de calcul, sau trăsăturile psihologice ale inventatorului legate de adoptarea drept ajutor a mașinii de calcul. Nu rareori unele faze sau etape în rezolvarea euroritmurilor devin mai economice prin utilizarea calculatorului uman.

Pe baza experienței folosirii mijloacelor electronice de calcul în căutarea și găsirea unor soluții optime, autorii ajung la următoarele două concluzii de bază [1], [2]:

— Foarte multe metode și tehnici euristice folosite cu succes pînă în prezent fără aportul mijloacelor electronice de calcul au devenit mult mai eficiente după ce au fost parțial logicizate, formalizate și apoi transferate calculatorului. Cu toate acestea, metodele și tehnicile euristice rămîn oportune în vederea utilizării exclusive a creierului uman, atunci cînd nu s-a reușit formalizarea și programarea pentru clasa dată de probleme, sau cînd nu există la dispoziție mijloace electronice adecvate. Ca atare, apare ca deosebit de oportună dezvoltarea tehnicilor și metodelor euristice în ambele variante — *cu utilizarea mijloacelor electronice de calcul și fără utilizarea acestora.*

Au apărut o serie de tehnici și metode de căutare, care în nici un caz nu pot fi utilizate fără ajutorul mijloacelor electronice de calcul, denumite *metode mașinizate de căutări constructiv-creative.*

Folosirea tehnicilor și metodelor euristice parțial formalizate sau neformalizate generează, în conformitate cu clasificarea invențiilor sub aspect genetic, *invenții stimulate* iar folosirea tehnicilor și metodelor mașinizate de căutări creative, conduce la *invenții logic-determinate.*

Logica poate pătrunde la nivelul inconștientului numai sub forma unor programe difuze de combinări și de criterii de consonanță care acționează reflex și cu intensitate scăzută.

Aceste procese logice — combinatorice de la nivelul inconștientului vor fi cu atît mai puțin difuze, cu cît mai ferm au fost dezvoltate și cultivate metodele și tehnicile logice de creație la nivelul conștientului.

Scanned with OKEN Scanner

Iată din ce cauză, înseși metodele și tehnicile intuitive de creație devin mai productive atunci cînd sînt combinate cu tehnicile și metodele logice-combinatorice.

Aparent paradoxal, euristicul devine algoritmic, iar algoritmicul devine euristic.

Numai înțelegîndu-se și aplicîndu-se cu pricepere acest principiu dialectic al unității dintre euristic și algoritmic, între logic și intuitiv, între analiză și sinteză, între deducție și inducție, se poate ajunge la o înaltă eficiență a muncii de creație tehnică.

Pe de altă parte, metodele și tehnicile psihologice mai prezintă un avantaj substanțial — operativitatea; în timp ce tehnicile și metodele logice presupun o intensă activitate preliminară informațională laborioasă și uneori de lungă durată și nu folosesc practic decît în foarte mică măsură cantitatea de informații de la nivelul cortexului inventatorului, tehnicile și metodele intuitive presupun o pregătire informațională minimă și asigură utilizarea în mult mai mare măsură a cantității personale de informații stocate.

Acesta este și argumentul pentru elaborarea în U.R.S.S. a unor tehnici și metode logico-intuitive de creație tehnică, care să pună în valoare maximal capacitatea creativă a inventatorului individual, cît și a unor programe complexe de amplificare a creativității, incluzînd ansamblul om—mașină electronică de calcul.

1. Metode logico-intuitive de creație tehnică

Procedînd la concasarea tehnicilor și metodelor psihologice de creație, A. I. Polovinkin [1], [3], pornind de la încercările de logicizare a căutărilor creative ale lui Alex Osborn, prin tehnica listelor interogative, precum și de la matricea de îndepărtare creativă, respectiv de la metoda lui G. Buș a „ghirlandei de asociații și metafore" [4], [5], elaborează *metoda generală logico-intuitivă de creație prin demersuri euristice.*

Metoda demersurilor euristice este relativ simplă și firească în aplicare, întrucît majoritatea inventatorilor, conștient sau inconștient, se folosesc de arsenalul propriu de demersuri creative, constituit prin experiența proceselor personale de căutări creative.

Prin *demers creativ se înțelege acțiunea-tip de modificare a soluțiilor tehnice existente, constituită dintr-o primă parte, care descrie spațiul (mulțimea) variabilelor și răspunde la întrebarea ce să se schimbe, și dintr-o a doua parte, care descrie modalitățile de modificare a variabilelor, răspunzînd la întrebarea cum să se schimbe.*

Multe demersuri euristice conțin indicații asupra cîtorva spații de variabile sau (și) asupra cîtorva modalități de modificare a acestora. A. I. Polovinkin denumește drept demersul euristic unitar, acel demers care se referă la un singur spațiu al variabilelor și la o modalitate unică a modificării acestora — *procedură de căutare;* ca atare, mai multe proceduri de căutare înrudite vor constitui un demers creativ, iar mai multe demersuri creative de aceeași categorie vor constitui grupa de demersuri creative, care, sub aspectul conținutului, corespunde în mare măsură unor tehnici intuitive de creație.

Scanned with OKEN Scanner

Un inventator începător, întîlnindu-se cu o problemă netradițională de concepție, este nevoit să-și găsească, după o căutare mai mult sau mai puțin îndelungată, un demers creativ eficient, care să-i permită o rezolvare creativă ușoară. Atunci cînd întîlnește o altă problemă și nu o poate rezolva cu demersul creativ precedent, el este nevoit să parcurgă din nou greul drum al căutării și găsirii demersului creativ adecvat. În felul acesta, la majoritatea inventatorilor se constituie un *fond individual al demersurilor creative*, care, corelat cu *fondul de soluții tehnice analoge* și cu *fondul de materiale și elemente constructive*, constituite într-un mod similar, reprezintă *baza materială a elaborării soluțiilor tehnice originale proprii*.

În mod firesc, în fața inventologilor sovietici au apărut întrebările: de ce fondul individual de demersuri creative să se constituie la întîmplare, neorganizat, prin zig-zaguri și nu organizat? Nu cumva fondul individual specializat de demersuri creative face parte dintr-un fond general interdisciplinar de demersuri creative?

Un prim răspuns pozitiv la aceste întrebări l-a constituit *elaborarea fondului interdisciplinar de demersuri creative*, un răspuns care face ca logica să pătrundă hotărît în euristică.

Un al doilea pas l-a constituit *elaborarea metodei de creație tehnică prin demersuri euristice*, iar cel de al treilea pas l-a reprezentat *elaborarea metodei euristice generalizate* de creație tehnică [1] . . . [5].

2. Fondul interdisciplinar de demersuri și proceduri creative

Organizînd și clasificînd demersurile și procedurile creative, A. I. Polovinkin distinge [1] 15 grupe de demersuri creative, conținînd un total de 261 demersuri și 600 proceduri, prezentate în tabelul 2.1 și expuse după criterii de ordin metodologic.

Tabelul 2.1.

Nr. grupei	Denumirea grupei	Numărul de demersuri și proceduri	
		Demersuri	Proceduri
1	a. Modificări cantitative	15	30
2	b. Modificarea formei obiectului sau elementelor sale	15	40
3	c. Modificări în spațiu	22	50
4	d. Modificări în timp	13	32
5	e. Modificarea mișcării	18	43
6	f. Modificarea materialului obiectului sau a elementelor sale.	19	55
7	g. Modificări prin eliminare	16	30
8	h. Modificări prin adăugare	15	43
9	i. Modificări prin schimbare (înlocuire)	24	64
10	j. Diferențierea	22	45
11	k. Integrarea	16	30
12	l. Folosirea măsurilor profilactice	18	32
13	m. Folosirea rezervelor	15	33
14	n. Transformări analogice	12	30
15	o. Combinare și sinteză complexă	21	43
	Total	261	600

Scanned with OKEN Scanner

Folosind fondul interdisciplinar de demersuri creative, inventatorul va trebui să-și constituie treptat un fond individual de demersuri creative, adaptat atît domeniului tehnic în care își desfășoară activitatea de creație, cît și caracteristicilor sale de personalitate. Structurarea și restructurarea acestui fond este însă necesară chiar și pentru inventatorii cu experiență, care au deja constituit, treptat, în timp, un fond adecvat de demersuri creative; metoda constituie un mijloc important pentru abordarea și rezolvarea mai amplă — mai sistematică a problemei.

Dar metoda demersurilor euristice este deosebit de eficientă în special în creația de grup, întrucît grupul pune la dispoziție nu numai un singur depozit informațional, ci un grup de depozite naturale de informații, de date și legi de compoziție și permite desfășurarea în paralel a mai multor procese de căutări euristice prin demersuri creative. Este util ca în sălile în care se întrunesc grupele de creație să fie afișat tabelul 1 a celor 15 grupe de demersuri euristice și chiar întregul nomenclator al celor 261 demersuri interdisciplinare din care urmează să se selecteze și să se structureze fondul specializat de demersuri euristice.

În constituirea fondului individual de demersuri creative, s-au conturat următoarele recomandări metodologice [1]:

a) În fondul individual trebuie să fie cuprinse cel puțin cîte unul dintre demersurile creative din fiecare din cele 15 grupe, fondul optim individual fiind constituit de regulă din 50...100 demersuri euristice specifice, acordîndu-se importanță mai mare grupei 14, de transformări analogice, corelate cu tehnica generală a analogiei și extrapolării.

Criteriul de selecție a demersurilor creative, pe baza analizei logice și a evaluărilor experte, îl reprezintă *posibilitatea și probabilitatea aplicării în domeniul dat* de sisteme tehnice și de procese tehnologice. Este recomandabilă însă și selecția, în proporție de 20%, a unor demersuri puțin probabile și aparent inadecvate în aplicare la clasa dată de probleme, întrucît dacă totuși, dintre acestea, vreunul se va aplica cîndva, rezultatul va avea amprenta unei înalte originalități.

Demersurile selectate vor trebui foarte atent reredactate în conformitate cu specificul domeniului.

b) Fondul individual trebuie permanent îmbogățit, studiindu-se istoria evoluției constructiv-funcționale a obiectelor și tehnologiilor specifice clasei date, precum și a fondului de brevete din brevetoteca națională; se va da o deosebită atenție modalităților specifice etapelor implementării industriale, încercîndu-se o formulare a unor noi demersuri creative specifice acestor etape, în special în domeniile de vîrf și în întreprinderile mari, purtătoare de progres tehnic.

c) Fondul individual trebuie să cuprindă demersurile euristice care să reflecte stilul subiectiv de gîndire al inventatorului, personalitatea sa — experiența sa de ansamblu.

Fiecare demers va trebui ilustrat cu 2—3 exemple diferite și sugestive, pe baza studierii istoriei tehnicii în domeniu și pe baza experienței personale.

3. Constituirea fondului de soluții tehnice analoge

Fondul de demersuri creative se folosește în primul rînd pentru perfecționarea constructiv-funcțional-tehnologică a unor soluții tehnice existente, de regulă de vîrf, pentru realizarea de superproduse sau supertehnologii, cu mare putere de penetrație pe piața mondială.

Scanned with OKEN Scanner

Inventatorul de profesie este recomandabil să aibă la dispoziție, în orice moment, un fond de bază de soluții tehnice analoge, constituit în mod special, prin investigarea critică a tehnicii mondiale contemporane și eventual împrospătat și actualizat în momentul demarării unui nou proces inventiv.

O bună parte dintre demersurile euristice sînt aplicabile în strînsă legătură cu modificările structurii materiale ale obiectelor supuse perfecționării, cu folosirea unor noi materiale și elemente de construcții și adaptarea acestora la noile mutații calitative ale soluțiilor. De aceea este util ca inventatorul să-și structureze un bogat fond de materiale și elemente constructive specifice, aplicabile în domeniul său de creație.

Aplicarea practică a metodei demersurilor euristice presupune parcurgerea următoarelor patru etape de bază [1]:

a) Precizarea și formularea temei de creație, prin elaborarea listingului cerințelor față de sistemul tehnic dat.

b) Selectarea din fondul de soluții analoge a uneia sau a mai multor prototipuri, care satisfac în cea mai mare măsură tema dată.

c) Analiza prototipurilor în vederea evidențierii lipsurilor și precizării temei de creație prin răspunsuri la două întrebări de bază:

— care indicatori ai prototipului trebuie îmbunătățiți și cu cît;

— ce calități noi trebuie să aibă sau (și) ce funcții și atribute trebuie eliminate.

d) Problema de creație va fi abordată și rezolvată, prin alegerea demersurilor euristice celor mai adecvate, din fondul individual de demersuri, cu ajutorul cărora se modifică apoi în sensul căutat, prototipurile selectate în etapa *b*. Aceste modificări pot fi realizate nu numai direct, prin folosirea simultană a cîtorva demersuri euristice, ci și prin îmbunătățiri treptate, cu ajutorul cîtorva demersuri folosite succesiv.

Dacă aplicarea demersurilor euristice selectate nu dă rezultate pozitive, se reanalizează exemplele tipice de aplicare a acestora din fondul personal, sau se apelează la alte demersuri din fondul individual, sau chiar din cel interdisciplinar. Dacă nici așa nu se ajunge la un rezultat viabil, se revine la etapa *b*, se modifică componența prototipurilor, sau chiar la etapa *a*, în vederea reformulărilor cerințelor.

Metoda căutărilor prin demersuri euristice a fost aplicată cu succes în U.R.S.S., în special în domeniul hidrotehnic, la realizarea unei noi clase de construcții hidrotehnice de consolidare, de conducte hidraulice, de construcții de reglare etc. și pentru condiții naturale diferențiate (topografice, hidrologice, geologice, atmosferice) [6], asigurînd un fond de 800 soluții tehnice, dintre care 40 au fost folosite în repetate rînduri, obținîndu-se peste 50 de brevete (dintre care unele și în Italia, R.F.G., Japonia etc.), cu o eficiență economică anuală de 2...3 milioane ruble. Cu succes s-a aplicat metoda și în sinteza optimă a sistemelor oscilante. [7]

Metoda specializată a demersurilor euristice poate fi substanțial eficientizată prin folosirea mijloacelor electronice de calcul, care, într-o primă etapă, pe baza elaborării prealabile a unui sistem factografic obișnuit de cercetare informațională, permite alegerea informațiilor dorite (ceea ce scurtează substanțial timpul de căutare), minții inventatorului revenindu-i sinteza noilor soluții, iar într-o a II-a etapă, în care se programează înseși demersurilor creative, se transferă calculatorului și o parte din procesul de creație propriu-zis, și, în continuare, practic inte-

Scanned with OKEN Scanner

gral, procesul de evaluare a noilor soluții, realizate de om, de mașină, sau combinat.

Metoda demersurilor euristice poate deci fi folosită la elaborarea programelor mixte umano-mașinizate de căutare a soluțiilor tehnice dintr-o anumită clasă, iar fondul interdisciplinar de demersuri euristice poate fi folosit cu succes la lărgirea posibilităților oferite de tehnicile și metodele logice-matematice de căutare.

Logicizarea și scientizarea proceselor creative în tehnică, precum și elaborarea unor tehnici și metode logice-combinatorice, a permis creșterea substanțială a determinismului căutărilor creative, dar, în același timp, presupunînd o baleiere completă a spațiului soluțiilor existente, a celor posibile, selectarea celor eficiente și analiza expertă a acestora, determină o amplificare în așa măsură a volumului de muncă, încît timpul căutărilor se prelungește cu mult peste cel operant, iar un creier uman este pus în imposibilitatea, uneori, de a rezolva problema de căutare chiar și într-o viață întreagă.

Marile progrese realizate în epoca modernă în dezvoltarea proiectării asistată de calculatorul electronic au permis automatizarea aproape în întregime a problemelor de calcul ingineresc, de căutare a informațiilor, de optimizare a parametrilor unor soluții tehnice elaborate, elaborarea desenelor și a documentației tehnologice etc., cu excepția sintezei unor soluții originale-superioare. Această din urmă problemă a găsit în ultimii ani însă, unele rezolvări convingătoare și de perspectivă, care să permită și automatizarea căutărilor creative — folosirea inteligenței artificiale în creația tehnică.

Metoda mașinizată de creație tehnică pusă la punct de colectivul A. I. Polovinkin [1] presupune rezolvarea următoarelor patru probleme de bază:

a) Descrierea funcțiilor sistemului tehnic și ale elementelor sale; construirea structurii funcționale.

b) Sinteza principiilor fizice de funcționare a sistemului tehnic.

c) Structurarea fondului informațional al sintezei soluțiilor tehnice.

d) Sinteza soluțiilor tehnice.

Rezolvarea celor 4 probleme necesită și elucidarea următoarelor aspecte fundamentale:

— elaborarea metodicii analizei funcțiilor sistemelor tehnice;

— elaborarea structurii funcționale a sistemelor tehnice;

— sinteza principiilor fizice de funcționare a sistemelor tehnice (calitativă și cantitativă);

— formalizarea și elaborarea pachetelor de programe.

Pachete de programe corespunzătoare algoritmului de sinteză al principiului fizic de funcționare au fost experimentate cu succes, în U.R.S.S [1], pe mașinile electronice de calcul M222 și ES-1020, pentru clase de obiecte „traductori de curent continuu" și „traductori pentru

Tabelul 2.2

Efectul fizic	A	B	C
Efectul de cîmp	Curent electric	Conductor	Cîmp magnetic
Efectul magnetostrictiv	Cîmp magnetic	Material feromagnetic	Deformație
Efectul piezoelectric	Deformație	Cristal piezoelectric	Cîmp electric

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.3

Efectul fizic	A	B	C
Efect de cîmp	Curent electric	Conductor	Cîmp magnetic
Modificarea pseudo-densităţii	Cîmp magnetic	Fluid	Modificarea pseudodensităţii
Principiul lui Arhimede	Modificarea pseudo-densităţii	Corp solid în fluid (densitatea corpului solid mai mică decît cea a fluidului)	Deplasare
Modificarea fluxului inducţiei magnetice	Deplasare	Material magnetic	Modificarea fluxului inducţiei magnetice
Inducţie magnetică	Modificarea fluxului inducţiei magnetice	Bobină de inducţie	Curent electric

concentraţia de gaz în lichid", maşina tipărind listingul şi descrierea principiilor fizice de funcţionare. În tabelul 2.2 este prezentată structura liniară a principiului fizic de funcţionare a traductorului cunoscut şi larg răspîndit, iar în tabelul 2.3, un nou principiu fizic de funcţionare, sintetizat de maşina electronică de calcul şi brevetat [8].

Este un prim caz semnalat în literatura creativităţii tehnice de *obţinere a unui brevet de invenţie de către o maşină electronică de calcul*, fapt istoric care demonstrează că visul lui Ştefan Odobleja — maşina de inventat — este deja practic realizat, chiar dacă nu poate încă să rezolve toate clasele de probleme tehnice de creaţie.

Importanţa faptului este cu atît mai mare cu cît, de data aceasta, maşina a rezolvat o problemă de creaţie de mare profunzime, sintetizarea unei soluţii cu un nou principiu fizic de funcţionare — deci a realizat o *invenţie fundamentală*.

BIBLIOGRAFIE

1. POLOVINKIN, A. I. ş.a. Avtomatizaţia poiskovovokonstruirovania. Editura Radio i Sveazi, Moscova, 1981.
2. DVOREANKIN, A. N., POLOVINKIN, A. I., SOBOLEV, A. N. Metodî sinteza tehniceskih reşenii. Editura Nauka, Moscova, 1977.
3. POLOVINKIN, A. I. Metod optimalinovo proiectirovania s avtomaticeskim poiskom shem i structur injinernîh constructii. Naucinîe trudî TNIIS 1970, nr. 4.
4. BUŞ, C. Ia. Metodologhiceskie osnovî naucinovo upravlenia izobretatelistvom. Editura Liesma, Riga, 1974.
5. BUŞ, G. Ja. Analoghia i tehnicescoe tvorcestvo. Editura Liesma, Riga, 1979.
6. POLOVINKIN, A. I. ş.a. Metodî poiska novîh tehiceskih reşenii. Marknigoizdat, Iuşkar-Ola, 1976.
7. VOINOV, B. S. Evriteceskii metod sinteza structurî colebatelnîh sistem S.V.Ci. Editura Gosudarstvenovo universiteta, Gorkii 1974, nr. 171, pp. 29—44.
8. SOBOLEV, A. N., SOŞNIKOV, I. P. Traductor al inducţiei cîmpului magnetic. Brevet U.R.S.S. 558—324.

Scanned with OKEN Scanner

3

În primul veac al noii ere

Adnotări despre „cotitura tehnologică“ actuală*

Note de lectură
Ing. *Ion Iliescu*

*Nota redacției „M.N.“**

Nu numai sub ochii noștri, ci și cu participarea noastră, în istoria umanității începe o nouă epocă „tehnologică“. Faptul că aceasta nu e deloc o problemă internă a științei și tehnicii, înțeleg deocamdată de departe nu toți, chiar și din rîndul oamenilor de știință și al inginerilor.

În ce măsură societatea noastră este pregătită să intre în stadiul următor al dezvoltării civilizației? Cum poate contribui la aceasta fiecare dintre noi? Cum ar trebui să se modifice, în legătură cu aceasta, conștiința noastră? Despre aceste probleme își împărtășește opiniile membrul Prezidiului Academiei de Științe a U.R.S.S., *academicianul Valerii Legasov.***

* * *

1. Cu cît mai mult, cu atît . . . mai puțin

Deosebirea dintre epoca „tehnică“, care a dominat pînă acum și cea „tehnologică“, în curs de afirmare, are un caracter principial.

În momentul de față, se schimbă chiar obiectivele care stăteau în fața omenirii creatoare. În ultimele secole, oamenii concepeau, creau și multiplicau tot felul de obiecte tehnice. Și progresul, în mod firesc, era legat de asigurarea, pentru fiecare dintre aceste produse, a unor caracteristici funcționale maximale. Dacă se realizau mijloace de transport — se străduiau să obțină viteze maxime, capacitate cît mai mare de transport; dacă era vorba de utilaj energetic, se căuta obținerea unei puteri cît mai mari, de dorit — record. Lumea trebuia aprovizionată cu noi mașini, aparate, utilaje — în aceasta se exprima obiectivul primordial. Însă, modalitatea de producere a acestor lucruri nu avea importanță principală; problema consumurilor — în înțelesul larg al cuvîntului — pentru obținerea lor, în general, nu se punea.

Drept urmare, producția contemporană înregistrează un randament însumat preocupant de mic. Noi ne-am învățat să obținem efecte colo-

* După „Moscovskie Novosti“ Nr. 41, 11 oct. 1987.

** Ac. V. A. Legasov, șeful catedrei de radiochimie și chimie tehnologică a Universității din Moscova — reputat specialist atomist, prim. adj. al directorului Inst. de Energetică Nucleară „I. V. Kurceatov“ al Acad. de Științe a U.R.S.S. și membru al Prezidiului acesteia, membru al Comisiei guvernamentale care a cercetat cauzele avariei de la Centrala nucleară „Cernobîl“, a decedat în luna aprilie 1988, în vîrstă de 53 ani.

Scanned with OKEN Scanner

sale, dar în realitate, în realizarea operațiunilor necesare, utile, se finalizează doar două, patru, cel mult zece procente din efortul inițial. Spre exemplu, din mine se extrage cărbune, suficient pentru producerea a 100 unități de energie. Transportul cărbunelui, apoi arderea lui, după aceea transportul energiei electrice produse, cu încălzirea inevitabilă a conductorilor și, în fine, funcționarea mașinilor — aceste operațiuni consumă 97—98 unități din cele 100! Și, în plus, întreaga masă pierdută — căldura difuzată, cărbunele nears, cenușa etc. — se împrăștie în atmosferă, provocînd și probleme ecologice. Înmulțind numărul de mine (sau crescîndu-le capacitățile) noi, ce-i drept, obținem creșterea efectului util în cifre absolute, numai că și pierderile cresc proporțional. Forțe uriașe, bani, materii prime se transformă în deșeuri. Deci, lozinca „mai multe mine, uzine, trenuri, metal, utilaje" în mod paradoxal nu dă răspuns la toate problemele, dar creează, în schimb, altele noi . . .

Acest exemplu este caracteristic pentru orice domeniu al activității materiale a omului. Multiplicarea și „creșterea puterii" tehnicii încetează să mai asigure succesul.

Ce e de făcut?

Este necesară *schimbarea obiectivelor,* sînt necesare alte lozinci, este necesară *o nouă strategie* a mersului înainte. În conștiința noastră trebuie să se înrădăcineze teza nestandard: acum, *modul de a produce* devine nu mai puțin important decît *obiectul* însuși al producției.

Dacă esența erei industriale, tehnice, era obținerea calităților *tehnice* ale oricărui produs, utilaj, mijloc de comunicație sau transport, atunci sensul perioadei care începe, a RTS (revoluției tehnico-științifice), este obținerea celor mai bune calități *tehnologice.* Marfa trebuie să fie produsă în modul și *numai în modul* care este justificat atît economic, cît și ecologic și social.

Sînt convins că, de-acum înainte, în decursul secolelor viitoare, principalele eforturi ale științei vor fi îndreptate nu spre obținerea unor produse mai „eficiente" decît actualul automobil, televizor, telefon, ci spre promovarea, în locul formelor obișnuite ale tehnicii, a unora *mai tehnologice.* Prin tehnologie am în vedere și accesibilitatea materiei prime, și folosirea rațională a energiei, și justificarea consumului de timp și de eforturi, și confortul viitorului utilizator, și luarea în considerare a tuturor efectelor secundare ale implementării noului produs, spre exemplu — gradul de securitate. Obiectivul central al activității cercetătorilor și proiectanților va deveni dorința de a concepe un proces, de a elabora o tehnologie principial nouă, prin care — păstrînd parametrii produsului la nivelul anterior, sau chiar înregistrînd o reducere a acestora — producerea lui să se realizeze cît mai avantajos.

Eu aș exprima deosebirea dintre vechea și viitoarea abordare a problemelor astfel: înainte se gîndea *ce* să se facă, acum se va gîndi *cum* să se facă.

Mi se poate replica: cum adică, oare principalele speranțe ale omenirii nu sînt legate tocmai de viitoarele descoperiri în domeniul tehnicii și nu al tehnologiei? Planeta este frămîntată de criza energetică, de cea alimentară: nu există suficientă hrană, rezervele de minerale utile se apropie de epuizare. Dacă nu sînt suficiente, înseamnă că se impune să se găsească urgent ceva în locul lor, iar modul în care se vor obține aceste înlocuitoare ale hranei actuale sau ale surselor actuale de energie este mai puțin important . . .

Scanned with OKEN Scanner

Desigur, acesta este un punct de vedere foarte răspîndit asupra crizelor actuale, dar nu și corect. Într-adevăr, de obicei se consideră că dispariția fizică a unei anumite resurse declanșează criza. Însă, cînd specialiștii încep să analizeze cu luciditate situația, se constată că nu e vorba de dispariție.

Cîndva, omul se folosea doar de energia solară. Apoi a trecut la folosirea lemnului — a început să utilizeze focul. Rezervele de lemn sînt mai limitate decît cele ale energiei solare, dar oamenii au preferat energia mai concentrată, adică mai tehnologică. Lemnul și acum este sursa potențială cea mai mare, regenerarea ei anuală este de 7—8 ori mai mare decît necesitățile energetice ale oamenilor; totuși, generațiile următoare s-au orientat spre cărbune (rezervele căruia, țin să remarc, sînt mai mici decît ale lemnului, însă concentrarea energiei e mai mare). Apoi, cărbunele a cedat primatul petrolului (cu rezerve și mai mici, dar tehnologicitatea sa a înlesnit apariția și dezvoltarea aviației, a transportului modern, a industriei chimice). Acum se lansează pe prim plan gazul natural, ale cărui rezerve sînt și mai mici decît ale petrolului.

Nici un tip de resursă nu se epuizează, oricît de straniu ar suna această afirmație. Căci, orice resursă încetează pur și simplu să mai fie utilizată, în momentul în care consumurile energetice necesare obținerii ei ajung să fie egale cu efectul energetic obținut din folosirea ei. De aceea, problema crizelor nu este deloc o problemă a resurselor, ci tocmai o problemă tehnologică.

2. Trebuie să știm pentru ce!

Ne așteaptă o cotitură creatoare neînchipuit de grea — nu atît din punct de vedere organizatoric, cît psihologic.

Dar, această reorientare este fără precedent și din alt punct de vedere. Și anume, realizarea ei nu e posibilă decît în colectiv, iar prin colectiv trebuie înțeles, practic, întreaga societate — cercetători, ingineri, muncitori, pedagogi, administratori, economiști . . .

Abordarea tehnologică impune din partea oricărui participant la procesul de muncă să înțeleagă și să ia în seamă influența celor mai diverși factori, care, înainte, pentru el, erau cu totul „colaterali". El trebuie nu numai să fie inițiat în domenii de graniță — aceasta e prea puțin. I se impune să pornească de la interese cu mult mai largi decît în trecut — și anume, de la interesele generale de stat. Sistemul socialist oferă pentru aceasta o bază temeinică. De aceea și trecerea spre noua strategie a RTS trebuie să înceapă cu restructurarea socială și psihologică!

Să analizăm sistemul creației științifico-tehnice a copiilor. Există o mulțime de cercuri, cluburi, secții. Însă, nu am auzit despre nici un cerc, în care să se cultive concepția contemporană, tehnologică, asupra științei, proiectării, realizării produselor. Copiii se întrec: al cărui avion-model zboară mai mult, al cărui automodel merge mai repede. În esență, aceasta echivalează cu asimilarea vechii mentalități a săpătorilor de pămînt: „ia mai mult — aruncă mai departe", reflectare a psihologiei industriale a anilor '20—'30. Nu există cluburi, unde în fața copiilor să se pună principial o nouă problemă: să zicem, trebuie construit un aviomodel cu parametri standard — o viteză dată, o anumită înălțime de

Scanned with OKEN Scanner

zbor. Dar, în ce mod să fie construit — aceasta să decidă noii Edisoni. Din furnir, cu clei, sau poate cu ajutorul ceramicii? Și ce consum de timp, de eforturi este justificat?

Această sarcină, dacă ne gîndim, este cu mult mai complicată decît pare la prima vedere: în mod practic, nu avem nici profesori de această formație. Rezultă că trebuie să-i învățăm pe copiii noștri, ceea ce noi singuri nu știm! Într-adevăr greu... dar, în mod vital, necesar!

Al doilea punct al restructurării necesare: învățămîntul superior. Să zicem, în institut se pregătesc electroniști de înaltă calificare. Oare este bine? Nu știu. Nu întotdeauna. Pentru că un electronist contemporan trebuie să știe nu numai să construiască și să perfecționeze o instalație electronică, ci și să analizeze: dar cum ar rezolva aceleași funcții, să spunem, o instalație pneumatică?

Vreau să spun, că în științele aplicate, astăzi sînt necesari nu atît *specialiști pe obiect,* cît *specialiști pe probleme,* adică *„specialiști tehnologici"*.

Pregătirea trebuie să devină într-atît de fundamentală, încît absolventul să se poată orienta cu ușurință în orice domeniu de specialitate, cu care se întîlnește în practică. Or, astăzi, un specialist cu studii superioare este, aproape întotdeauna încorsetat de cunoștințele concrete ale domeniului său.

Ieșirea o văd în acordarea priorității unor institute de bază și unor discipline fundamentale — fizică, chimie, matematică și obligatoriu — economie. Și în introducerea unor cursuri de legătură, pe probleme cu caracter general: „Problema transportului", „Problemele materialelor", „Problemele securității" etc. Iar, disciplinele speciale trebuie însușite în abordarea problemelor concrete.

Noua eră, în al cărei prim secol intrăm, impune un orizont larg, integrarea științelor, abordarea oricărei probleme *în ansamblu* (sistemic) — independent de aspectele pe care le include: biologice sau de știința materialelor, energetice sau medicale...

Mă completez: întotdeauna și în număr mare vor fi, desigur, necesari și specialiști pe domenii — pe turbine, pe automobile și pe alte „lucruri". Însă, astăzi, principalul deficit îl înregistrăm în „problemiști".

Există încă o modificare fundamentală, principială pe care o generează era tehnologică în viața noastră. În vechea abordare („ce e de făcut?") omul nu era privit ca factor esențial. Utilajul — este factor esențial, linia de fabricație — de asemeni. Pentru un producător de obiecte — acestea se află în centrul preocupărilor, calculelor și proiectelor sale, omul se află între paranteze.

Numai cînd vom deplasa accentul de pe *ce* facem, pe *cum* facem, numai atunci ne vom dezice de fetișul indicatorilor, al cifrelor fără și independente de conținut, de primatul parametrilor tehnici și vom gîndi *pentru ce* este necesar acest indicator, care este rezultatul final al acestui parametru — dintr-odată pe scenă va apare componentul principal al producției, stăpînul, beneficiarul, centrul oricărei tehnologii, esența întregii activități: *omul.*

Perioada tehnologică presupune integrarea celor mai diverși factori: științifici, inginerești, personali, sociali. În legătură cu aceasta, schimbări radicale trebuie să cunoască sistemul de conducere. Schematizînd, se poate spune că, pînă acum, conducerea se rezuma la indicații — sînt necesare atîtea trenuri, atîta sare, atîtea perii de dinți. Iar economia

Scanned with OKEN Scanner

(iarăși, intenționat, simplific) constă în asigurarea resurselor necesare, pentru îndeplinirea sarcinilor menționate: oameni, materii prime, utilaje, bani. Însă, cînd producătorul este preocupat de problema „cum?“ (adică, în ce mod se poate rezolva cel mai bine sarcina finală — în exemplele noastre era vorba de comunicații, alimentație, sănătate publică), atunci el e liber și chiar dator să își aleagă varianta optimă. Această variantă aleasă, la rîndul său, solicită eforturile unor ramuri apropiate.

Sarcina ar trebui să sune — nu, nu să „sune“, ci să fie — altfel: asigurați pentru societate următorul rezultat final. Satisfaceți următoarea necesitate socială (să spunem, în domeniul transporturilor). Pentru că, dacă privim în esența lucrurilor, automobilele nu sînt necesare pentru deplasare sau pentru transport în sine — ci aceste transporturi sînt necesare pentru satisfacerea anumitor nevoi ale societății. Deci, executanții să și decidă în ce mod aceste nevoi finale să fie satisfăcute mai bine. Prin transporturi auto, prin garnituri de mare capacitate pe cale ferată, prin trecerea spre surse mai apropiate de materii prime, sau pe ce alte căi.

În acest fel se stimulează și inițiativa reală, și creația îndrăzneață, și dorința și capacitatea de a gîndi, de a *munci rațional* și *nu oricum,* se formează gîndirea la nivel de interes statal. Sînt pe deplin convins că folosirea avantajelor socialismului, a mecanismelor sale colectiviste, pentru trecerea efectivă a societății spre noua calitate „tehnologică“ — este datoria noastră directă.

„Era tehnologică“ pătrunde, într-adevăr, în viața noastră la nivelele cele mai diverse. Ea presupune: *o nouă orientare a educației copiilor* (nu *„ce?“*, ci *„cum?“*), a *învățămîntului superior* (nu specialiști pe obiecte, ci pe probleme), *a conducerii* (noi criterii de evaluare a muncii umane: criteriile rezultatelor finale, în mod real necesare, în locul „cantităților“ departamentale, „tonelor-kilometri“ și „kilowaților“), a multor altor sfere obișnuite ale activității. Dacă dispare o verigă din întregul lanț, și oamenii de știință și inginerii vor rămîne dezarmați în fața viitorului.

Abordarea acestor probleme din punctul de vedere al principiilor noastre de viață — care presupun ca interesele fiecăruia să decurgă din interesele tuturor, ca interesele generale să aibă prioritate asupra celor de grup, înlesnind și satisfacerea acestora — o asemenea abordare răspunde întocmai cerințelor perioadei tehnologice a RTS și cu cît înaintăm, cu atît aceasta devine mai evident.

Noi toți sîntem colegi la întîlnirea cu noua eră, noi toți sîntem martorii și creatorii primului său secol. Și acest secol a sosit, mi se pare, foarte la timp. Căci, tocmai astăzi, fiecare din noi gîndește tot mai mult: cum să facem viața noastră comună mai rațională.

Scanned with OKEN Scanner

II

MODERNIZAREA TEHNOLOGIILOR ȘI PRODUSELOR

Scanned with OKEN Scanner

4

Cercetarea științifică actuală în tehnologia construcției de mașini

Dr. ing. *Gabriela Crișan*
Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Construcțiilor de Mașini I.C.T.C.M.

Un rol esențial în înfăptuirea hotărîrilor Congresului al XIII-lea al partidului revine științei și tehnologiei, ca factori determinanți ai progresului, ai afirmării multilaterale a revoluției tehnico-științifice în țara noastră.

Înaltul grad de angajare a științei și tehnologiei românești în rezolvarea unor probleme de importanță fundamentală urmărește dezvoltarea economică și socială a țării noastre în etapa actuală precum și în perspectiva anului 2000.

Unitățile de cercetare științifică și inginerie tehnologică din cadrul Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini au asigurat, în cincinalul trecut, pe bază de concepție proprie, un grad de înnoire a producției de 75%, fiind introduse în fabricație peste 2000 produse noi și modernizate, respectiv: mașini și utilaje agricole, nave maritime și fluviale, autovehicule, autoturisme, aeronave, motoare termice, rulmenți etc. S-au elaborat și implementat peste 1200 tehnologii, vizînd reducerea consumurilor materiale și energetice, creșterea productivității muncii, simultan cu ridicarea performanțelor și creșterea competitivității produselor. Astfel, dintre acestea, ICTCM se preocupă de: tehnologiile de prelucrare prin electroeroziune, cu laser, cu ultrasunete, tehnologiile de recuperare și recondiționare specifice produselor de serie. S-au realizat mecanizări și automatizări ale proceselor de producție: peste 20 linii și utilaje complexe, pentru integrarea autoturismului OLTCIT, peste 50 de tehnologii și echipamente aferente programului nuclear, mecanizarea și automatizarea montajului, a alimentării mașinilor-unelte și a transferului interoperațional, realizîndu-se echipamente cu un înalt grad de tipizare.

Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Construcțiilor de Mașini — ICTCM, ca institut de ramură a avut și continuă să aibă o contribuție esențială în promovarea tehnologiilor noi în industria construcțiilor de mașini.

ICTCM își desfășoară activitatea în următoarele direcții:

— cercetarea proceselor tehnologice noi și elaborarea de tehnologii integrate, de sisteme complexe de fabricație;

— proiectarea de utilaje, linii complexe de prelucrare, de mecanizare a montajului automatizat, sau de acoperiri de suprafețe;

— producerea și omologarea unor utilaje tehnologice unicat sau capete de serie cu destinații speciale sau generale, pentru asimilarea în fabricația în serie;

Scanned with OKEN Scanner

— asistență tehnică la punerile în funcțiune și pentru implementarea în industrie a lucrărilor finalizate în institut, precum și pentru școlarizarea, instruirea și perfecționarea cadrelor tehnice și a personalului de deservire din unitățile beneficiare.

Obiectivele de bază ale ICTCM în etapa actuală și în perspectivă sînt:

— Creșterea mai accentuată a productivității muncii, în special prin implementarea tehnologiilor de vîrf a mecanizării și automatizării proceselor de producție, utilizarea tehnicii de calcul, extinderea tipizării și stabilirea de norme de muncă îmbunătățite.

— Reducerea consumurilor energetice și de materiale prin îmbunătățirea randamentelor mecanismelor, reducerea consumurilor energetice în vopsitorii, recuperarea metalului prin noi generații de gospodării de șpan, dezvoltarea și generalizarea de tehnologii de recondiționare și refabricare.

— Ridicarea nivelului tehnic și calitativ al produselor prin generalizarea „Sistemului de Asigurare a Calității" (S.A.C.), realizarea de utilaje de control dimensional și funcțional al produselor, inclusiv utilizînd tehnica de calcul, introducerea manipulării automatizate a pieselor, subansamblelor și produselor.

— Asimilarea de noi tehnologii de vîrf, precum și de produse, cum ar fi: tehnologiile de prelucrare cu energii concentrate, electrofizico-chimice, tehnologiile de montaj, tehnologiile moderne de vopsitoare, asimilarea de produse din cadrul programelor prioritare naționale. În acest sens au fost realizate și implementate de către ICTCM tehnologii și instalații de debavurare electrochimică a roților dințate la ÎNTREPRINDEREA DE AUTOCAMIOANE — Brașov, ÎNTREPRINDEREA HIDROMECANICA — Brașov; serii modulare de manipulatoare pneumatice și hidraulice cu 5 grade de mișcare, manipulatoare, — tip portal — pentru montaj la OLTCIT — Craiova, ÎNTREPRINDEREA AUTOBUZUL — București; instalație de vopsire la înaltă presiune — tip VIP — la ÎNTREPRINDEREA AUTOBUZUL — București, ȘANTIERUL NAVAL MANGALIA, ȘANTIERUL NAVAL BRĂILA, ȘANTIERUL NAVAL Galați, ÎNTREPRINDEREA TRACTORUL — Brașov; tehnologie și echipamente pentru fabricație și control a elementelor de asamblare din industria auto, la ÎNTREPRINDEREA MECANICA — Mediaș, ÎNTREPRINDEREA AUTOTURISME — Pitești; proiectare tehnologică asistată de calculator pentru elaborarea planurilor de croire și tehnologii de lucru pe MUCN la ÎNTREPRINDEREA MECANICA — Mîrșa, ÎNTREPRINDEREA MECANICA — Sibiu și altele.

În continuare sînt prezentate caracteristicile și parametrii unora din lucrările, realizate de ICTCM.

Scanned with OKEN Scanner

5

Din realizările institutelor de cercetare științifică și inginerie tehnologică

Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică
pentru Industria Construcțiilor de Mașini I.C.T.C.M.

Manipulator echilibrat pneumatic

În cadrul liniilor de montaj, la alimentarea sau/și descărcarea pieselor de pe diversele utilaje, pentru echilibrarea unor dispozitive de înșurubare, sau pentru atelierele de forjă se pot utiliza astfel de manipulatoare. Manipulatorul echilibrat pneumatic se compune din sistemul mecanic de echilibrare și deplasare a sarcinii, și instalația pneumatică de

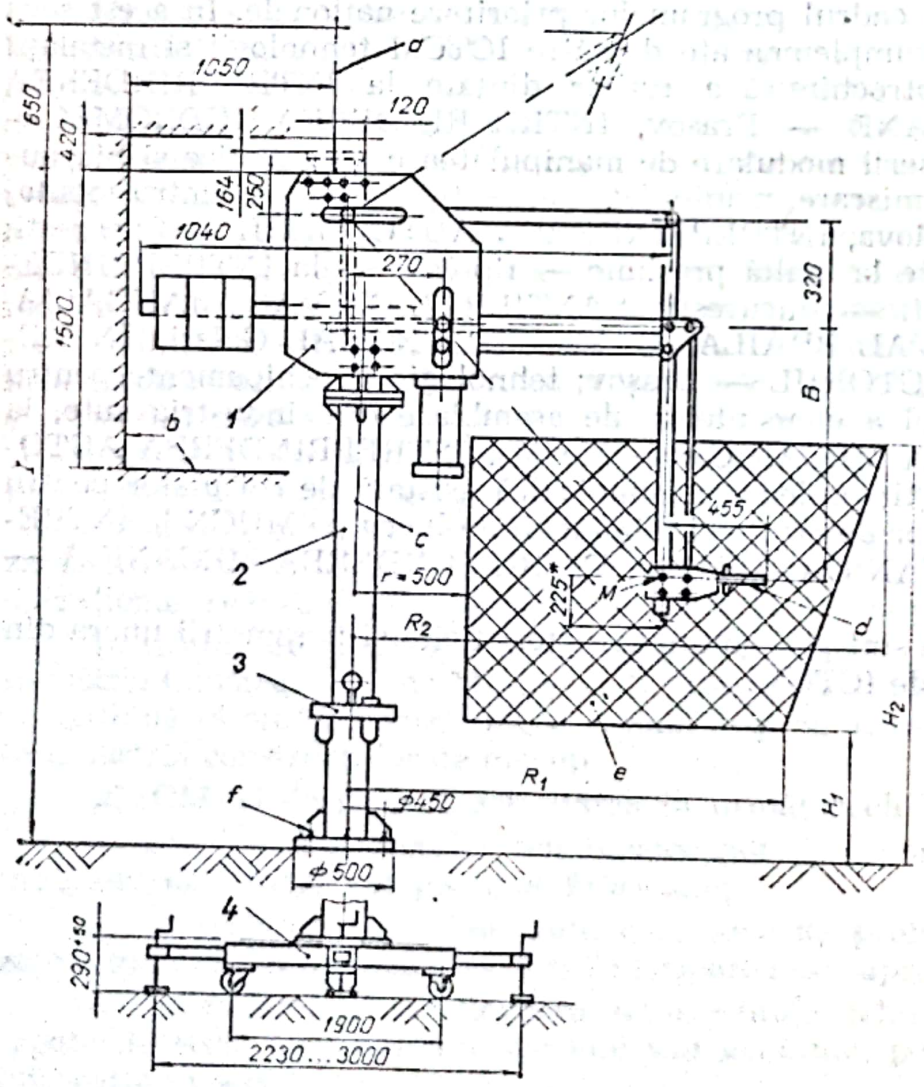


Fig. 5.1. Manipulator echilibrat pneumatic: *1* — sistem mecanic; *2* — coloană fixă; *3* — instalație pneumatică; *4* — cadru mobil; *a* — ax de rotație pentru varianta *3* (tabelul 5.2); *b* — limitele zonei de deplasare a contragreutăților; *c* — ax de rotație pentru variantele *1* și *2* (tabelul 5.2); *d* — cap de prindere; *e* — domeniul de deplasare a punctului *M*; *f* — 4 șuruburi M 24 echidistante.

* Cota este funcție de sistemul de suspendare a sarcinii.

Scanned with OKEN Scanner

acționare pentru ridicarea și coborîrea sarcinii, manipulatorul fiind dotat cu un cap de prindere, cu posibilități multiple de apucare a pieselor (fig. 5.1).

Componentele sînt montate pe o coloană fixă sau pe un cadru mobil.

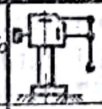
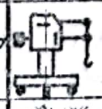
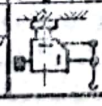
Parametrii caracteristici ai manipulatorului sînt: sarcină nominală 60 . . . 250 daN; raza maximă de acțiune 3 000 . . . 1 800 mm; înălțimea maximă de ridicare 1 900 . . . 2 200 mm; cursa verticală 1 000 . . . 1 650 mm; consum de aer comprimat pentru o cursă de ridicare completă a sarcinii 0,025 . . . 0,072 Nm^3; efortul de acționare a brațului pe direcția radială sau tangențială 3 daN; domeniul de reglare a vitezelor de deplasare a sarcinii pe verticală 0,02 . . . 0,2 m/s; unghiul de rotire a brațului în jurul axei verticale 360°; mediul de lucru (temperatura 5 . . . 50°C; umiditatea relativă max 90%; încăperi acoperite, ferite de agenți corozivi și ceață salină); felul acționării (manuală — pentru deplasarea în plan orizontal; pneumatică — pentru ridicarea și coborîrea sarcinii); felul comenzii: pneumatică; alimentarea manipulatorului: aer comprimat 4 . . . 6 bar (v. și tabelul 5.1.).

Unele subansambluri, din lucrarea prezentată, constituie obiectul Brevetelor RSR de invenție nr. 88.786, 90.995, 90.996.

Tabelul 5.1 Dimensiuni principale

Cota / Tipodimensiunea	Simbol	A	B	I	R_1	R_2	H_1	H_2	Cursa orizont.	Cursa verticală
	–	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
60 daN	60	1752	1756,4	3264	2300	3000	450	2100	2500	1650
100 daN	100	1552	1519,4	3264	2000	2600	750	2200	2100	1450
160 daN	160	1352	1282,3	2864	1700	2200	700	1900	1700	1200
250 daN	250	1152	1045	2864	1400	1800	1000	2000	1300	1000

Tabelul 5.2 Variante constructive

Varianta constr.	Forma constructivă	Module componente				Tipodimensiunea			
		Sistem mecanic	Coloană fixă	Cadru mobil	Instalație pneumat.	60	100	160	250
						Masa, Kg			
Varianta 1		+	+	–	+	265	261	240	236
Varianta 2		+	+	+	+	435	430	410	406
Varianta 3		+	–	–	+	160	156	150	147

Simbolizare:
Manipulator echilibrat pneumatic MEP-000-0-0
Sarcina maximă (daN)
(60, 100, 160, 250 daN)
Varianta pneumatică
(comandă manuală - 1)
Forma constructivă
(conform variantei din tabelul 5.2)

Scanned with OKEN Scanner

Tehnologie de activare a electrozilor utilizaţi pentru electroliza apei la fabricarea hidrogenului şi oxigenului

I.C.T.C.M.

Realizarea unor consumuri energetice cît mai reduse în procesul industrial de obţinere a hidrogenului şi oxigenului prin electroliza apei este bazată pe utilizarea unor electrozi (anozi şi catozi) speciali cu suprafaţă activă din punct de vedere catalitic, care permite scăderea tensiunii electrice aplicate cu circa 30%.

În prezent numeroase industrii din domenii prioritare produc şi consumă mari cantităţi de hidrogen gazos (ca atmosferă a turboagregatelor din unităţile energetice, la hidrogenările produselor şi subproduselor din industria chimică şi petrochimică, etc.).

Metodele de obţinere a unor astfel de suprafeţe active din punct de vedere catalitic sînt diverse, majoritatea implicînd utilaje speciale şi materiale tehnologice (agenţi porogeni) foarte costisitoare.

Rezultate similare se obţin şi prin metode electrochimice care constau în depunerea pe suprafaţa electrozilor a unui aliaj bimetalic constituit din metalul activ propriu-zis care este nichelul şi un metal de sacrificiu codepus astfel încît să se preteze ulterior la o extragere selectivă. Prin acest tratament specific se realizează o creştere a suprafeţei active a electrodului, prin microdiscontinuităţile create de circa 15 ... 20 ori.

Caracteristica esenţială a unui astfel de aliaj este structura sa columnară, singura aptă pentru extragere selectivă ulterioară.

Din punct de vedere tehnologic, dificultatea în realizarea acestor depuneri constă în corelarea cu precizie a factorilor cinetici ai procesului catodic de codepunere cu raportul concentraţiilor speciilor ionice din electrolit, astfel încît aceştia să poată fi dirijaţi în sensul obţinerii structurii impuse.

Cercetările efectuate, în scopul elaborării unei tehnologii proprii de obţinere a suprafeţelor active pe electrozi, au avut la bază studiul posibilităţii depunerii aliajului bimetalic cu structură columnară şi determinării parametrilor optimi de proces pentru acesta, precum şi studiul condiţiilor de activare propriu-zisă a suprafeţei prin dizolvare selectivă.

Din experimentările efectuate s-a stabilit oportunitatea studierii, în acest scop, a codepunerii nichelului cu zincul, justificată prin considerente tehnologice, calitative şi economice.

Acoperirile realizate conform fluxului tehnologic stabilit, în urma experimentărilor, au fost studiate cu ajutorul microscopului metalografic pe şlifuri transversale prin strat pentru stabilirea aderenţei, grosimii, uniformităţii şi structurii depunerii, iar pentru determinarea compoziţiei aliajului s-au efectuat probe la microsonda electrică.

Aceste teste au evidenţiat ca optimă, din punct de vedere catalitic, acoperirea de aliaj Ni/Zn=1,2 ... 1,8 care, după dizolvarea selectivă, prezintă structura caracteristică din fig. 5.2, *a* şi 5.2, *b*.

Aceste depuneri speciale de nichel cu activitate înaltă din punct de vedere catalitic permit creşterea randamentului procesului de descompunere electrolitică a apei cu circa 30 ... 40%.

Scanned with OKEN Scanner

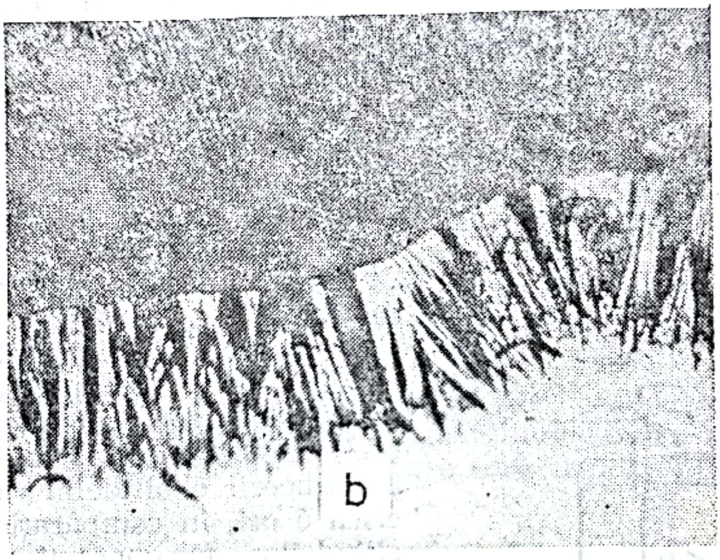


Fig. 5.2. Micrografia depunerii de nichel activ (după extragerea selectivă a zincului):
a — pe suprafață, cu evidențierea rețelei de fisuri caracteristice cu deschideri neuniforme; *b* — în secțiune cu evidențierea porozității în profunzimea stratului.

Cromarea dură a suprafețelor cilindrice interioare

Cromarea dură constă în aplicarea unui strat de crom dur lucios sau semi-lucios cu uniformitate și aderență perfectă într-un regim dinamic de electroliză (cu anod mobil).

În procesul de cromare dură a suprafețelor cilindrice se utilizează săruri metalice și adaosuri catalitice cunoscute în practica cromării normale cu autoreglare, microfisurate etc.

Procedeul realizat permite reducerea consumurilor energetice totale aferente procesului de electroliză cu 1/3 . . . 1/5 față de cromarea dură clasică, fără a se înregistra scăderea randamentului de curent sau a vitezei de depunere.

Scanned with OKEN Scanner

Prin aplicarea procedeului de cromare cu anod mobil, se realizează depuneri de crom aderente, cu structură microcristalină, cu o rețea de fisuri fine și uniforme caracteristice și o distribuție foarte uniformă a grosimii, atît pe diametru, cît și pe generatoare, ceea ce conduce la eliminarea totală a „efectului de capăt" și deci a prelucrării mecanice ulterioare ale stratului.

Microduritatea acestor depuneri, determinată prin metoda Vickers, cu microsarcină de 50 g, este cuprinsă între 1 100 . . . 1 300 HV.

Tehnologia de cromare dură a suprafețelor cilindrice se aplică în instalații obișnuite de cromare la care se adaptează un dispozitiv special, multifuncțional, care realizează concomitent atît fixarea catodului, cît și centrarea și deplasarea rectilinie, uniformă a anodului în dublu sens.

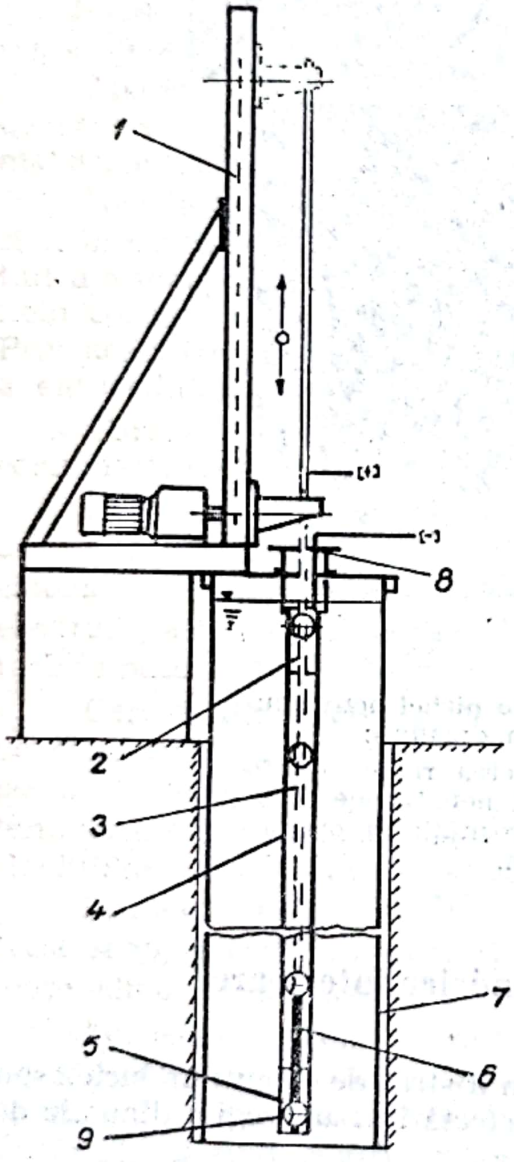


Fig. 5.3. Schema dispozitivului de cromare cu anod mobil:
1 — dispozitiv de cromare; *2* — prelungitor superior țeavă; *3* — port-anod; *4* — țeavă pentru cromare; *5* — prelungitor inferior țeavă; *6* — anod de cromare; *7* — baie pentru cromare; *8* — dispozitiv de susținere țeavă; *9* — distanțier din teflon.

Procedeul poate fi aplicat cu succes în vederea durificării interioare a componentelor cu suprafețe cilindrice de orice lungime și diametre, utilizate în industria petrolieră, chimică, petrochimică, aerospațială, nucleară etc. În prezent, tehnologia se aplică în întreprinderi din *industria petrolieră*, la cromarea dură interioară a cămășilor cilindrilor pompelor de extracție cu lungimi de 4 . . . 6 m și diametre de $1^1/_4''$ . . . $1^3/_4''$, confirmîndu-se performanțele procedeului.

Urmărirea în exploatare — în sondă — a pompelor, echipate cu astfel de cilindri a condus la înregistrarea unei creșteri a fiabilității cu circa 200% și a reducerii cheltuielilor de montaj de circa 5 ori, în comparație cu utilizarea cilindrilor fragmentați, din elemente scurte (≈400 mm lungime) și cromați după procedee clasice.

În urma aplicării acestui procedeu, costul cromării se reduce cu circa 40 . . . 50% față de costul cromării realizate cu tehnologii clasice, iar pierderile de crom (datorate prelucrărilor mecanice ulterioare cromării) scad cu 90 . . . 100%.

Pentru realizarea pieselor în acest procedeu se utilizează dispozitivul reprezentat în fig. 5.3.

Noul procedeu de cromare răspunde cerințelor tehnologiilor moderne, aplicate în tehnica protecției suprafețelor metalice avînd următoarele avantaje: reducerea consumului energetic prin folosirea surselor de curent de joasă tensiune și intensitate; îmbunătățirea calității și creșterea fiabilității,

Scanned with OKEN Scanner

înregistrîndu-se pentru pompele de extracție, o medie de bună funcționare de 372 zile, durată-similară cu a celor mai bune performanțe obținute pe plan mondial; (această durată medie, în cazul pompelor echipate cu cilindri scurți, cromați, conform tehnologiei clasice este de numai 23 zile); posibilitatea de adaptare fără modificări, în vederea cromării dure a suprafețelor cilindrice interioare de orice lungime și diametru, indiferent de materialul de bază al echipamentelor, ceea ce determină universalitatea procedeului; reducerea sau eliminarea pierderilor de crom, în decursul prelucrării mecanice ulterioare cromării (absolut necesară în cazul tehnologiei clasice).

Durificare a pistoanelor prin metalizare oxiacetilenică cu pulberi

Tot în vederea creșterii fiabilității *pompelor* (noi și/sau uzate) *de extracție a petrolului,* acestora li se aplică, cu rezultate pozitive și tehnologia de metalizare oxiacetilenică cu pulberi a pistoanelor.

În acest scop se utilizează ca materii prime pulberi tip METCO 15 E, iar echipamentele necesare sînt compuse din: instalație de pulverizare oxiacetilenică cu pulberi tip 5P (METCO), instalație de sablare, cuptor de tratament termic, mașini de rectificat.

Tehnologia de metalizare presupune efectuarea următoarelor faze: spălarea și degresarea pistoanelor cu solvent organic, încălzirea pistoanelor pînă la 250 ... 300°C pentru arderea urmelor de petrol, sablarea cu corindon 125 la presiunea de 5 bari, încărcarea prin pulverizare cu parametrii de lucru: presiune oxigen 2,10 bari; presiune acetilenă 1,05 bari; viteza de avans a pistonului 4 ... 6 mm/rot; viteza periferică a piesei 20 ... 25 m/min; distanța de pulverizare 150 ... 170 mm; topirea depunerii cu flacără oxiacetilenică; răcire lentă.

Efectele aplicării metalizării se manifestă prin: creșterea fiabilității pistoanelor de circa 5 ori și posibilitatea recondiționării de mai multe ori a aceluiași piston, după fiecare recondiționare rezultînd fiabilitatea inițială.

Instalații complexe de control multidimensional asistate de microcalculator electronic specializat

I.C.T.C.M. și I.C.S.I.T.E. București

Controlul multidimensional se aplică pieselor complexe, din fabricația de serie, în vederea asigurării măsurării tuturor parametrilor, simultan sau într-un timp relativ scurt. Instalațiile complexe de control multidimensional asigură în condiții optime controlul unui număr mare de parametri și a unor forme geometrice complexe, pentru fabricația flexibilă, prezentînd un puternic caracter preventiv, bazat pe urmărirea procesului prin metode statistico-matematice.

Astfel, în construcția de mașini, în diverse domenii, se impune un control multidimensional al pieselor înainte de montajul final pe liniile de fabricație.

Instalațiile de control adecvate se compun din: unul sau mai multe dispozitive de control multidimensional, cu traductori de măsurare inductivi, cuplați la un microcalculator, care prelucrează informațiile primite de la aceștia, compară valorile înregistrate față de limitele admise ale parametrilor măsurați, efectuează calcule statistice, afișează rezultatele pe un display sau pe o imprimantă (fig. 5.4).

Scanned with OKEN Scanner

Performanțele acestor instalații de control sînt caracterizate prin: număr de traductori inductivi max 150; rezoluția citirii 0,001 mm; precizia de măsurare 0,002 ... 0,005 mm; domeniul de măsurare al traductoarelor $\pm$0,500 mm; capacitatea calculator 64 kbitt; etalonarea cu piesă de referință (etalon) în vederea memorării poziției traductoarelor pe piesele respective.

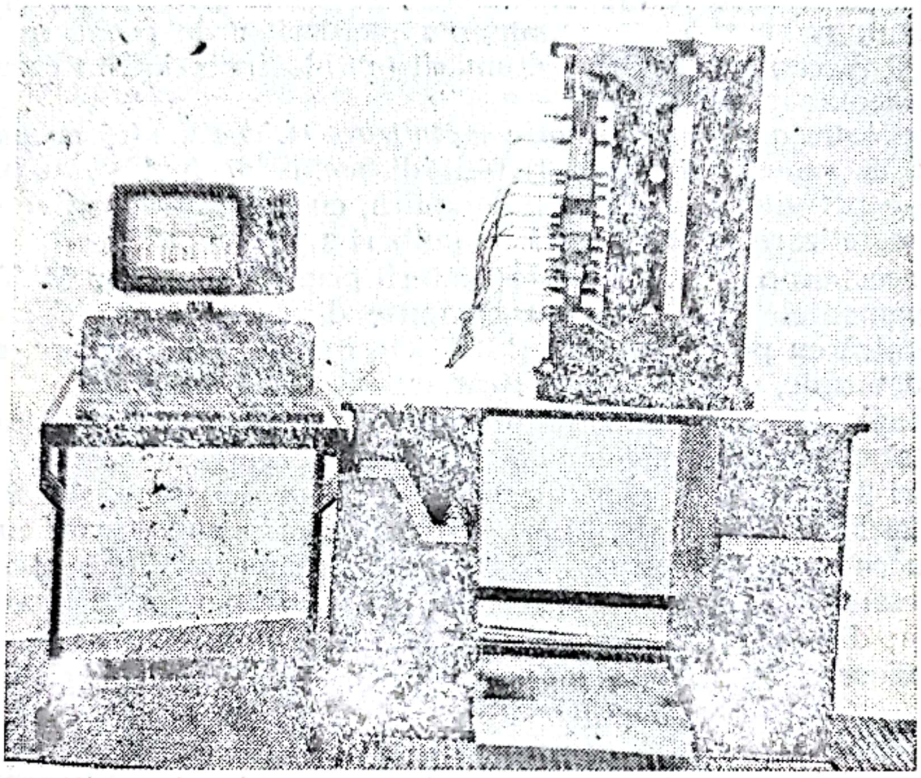


Fig. 5.4. Instalație de control arbori în trepte — vedere de ansamblu.

Instalația de control cu traductoare inductive de deplasare și bloc de control cu microprocesor prezintă numeroase avantaje, dintre care se enumeră: reglaje relativ simple, furnizarea la cerere a oricăror calcule referitoare la valorile măsurate pentru orice parametri sau asupra capabilității procesului tehnologic, simplitatea deservirii, fiabilitate sporită în urma implementării și a unor funcții de autodepanare, creșterea productivității muncii în operațiile de control de calitate, în cadrul liniei de fabricație, de circa 5 ... 10 ori, în condițiile solicitării mai puțin intense a operatorului.

Instalația complexă respectivă poate fi folosită la verificarea dimensională a unor repere complexe din componența motoarelor cu ardere internă, cu parametrii multipli de măsurat (de exemplu: arbori cotiți, biele, pistoane, arbori în trepte, carcase etc.), precum și în componența unor linii și celule flexibile de fabricație.

Astfel, în cazul controlului bielelor (fig. 5.5), instalația concepută se aplică pentru 4 (patru) tipuri constructive diferite de biele, măsurîndu-se și înregistrîndu-se parametrii specifici ca: diametrele, ovalitățile, conicitățile la cele două capete, distanța dintre axele acestor alezaje îndoirea și răsucirea axului longitudinal.

Instalația de control a arborilor cotiți permite verificarea: pentru fiecare din fusurile palier și maneton a diametrelor, ovalității, conicității;

Scanned with OKEN Scanner

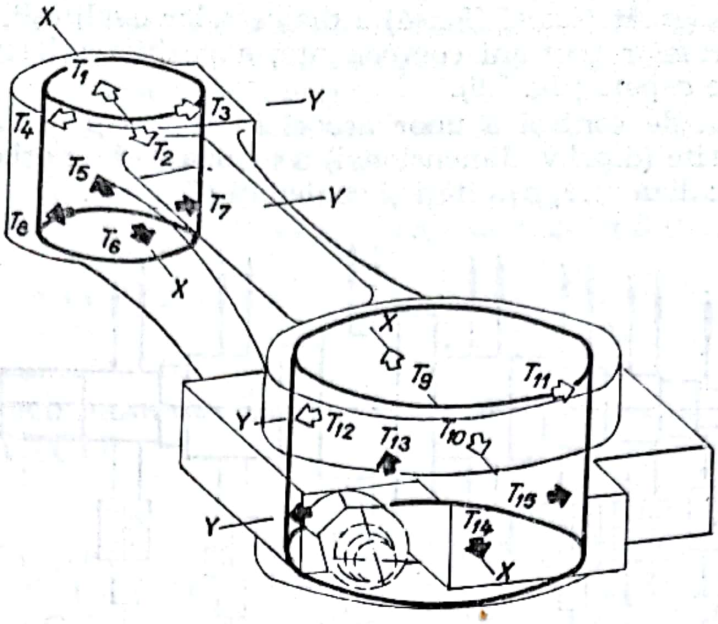


Fig. 5.5. Instalație multicote pentru controlul complex al bielelor; ⇐ plan 1 de măsurare; ← plan 2 de măsurare. Parametrii verificați: diametrul „ochi mic" în planul *1*; diametrul „ochi mic" în planul *2*; ovalitate „ochi mic" în planul *1*; ovalitatea „ochi mic" în planul *2*; conicitatea „ochi mic"; diametrul „ochi mare" în planul *1*; diametrul „ochi mare" în planul *2*; ovalitatea „ochi mare" în planul *1*; ovalitatea „ochi mare" în planul *2*; conicitate „ochi mare"; distanța între cele două alezaje; îndoirea; răsucirea. $T_1 \ldots T_{16}$ sînt traductori inductivi.

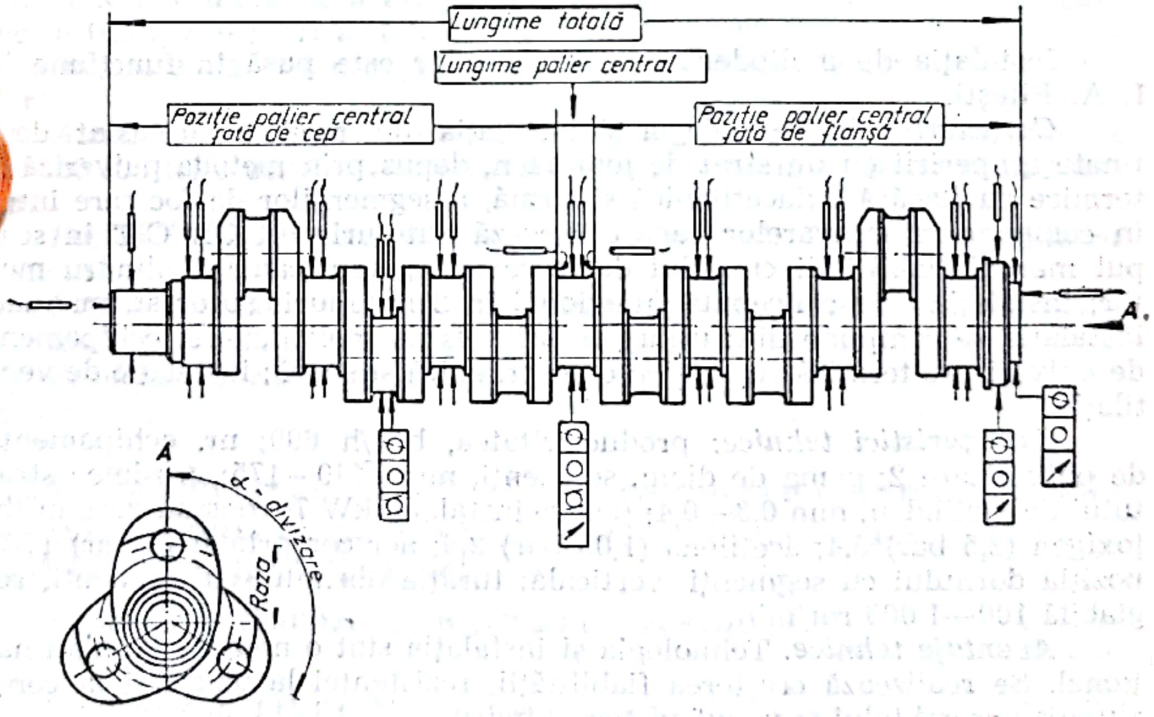


Fig. 5.6. Instalație de control arbori cotiți. Schema de măsurare și parametrii verificați:

diametru, ovalitate, conicitate, bătaie radială la toate palierele; diametru, ovalitate, conicitate la toate manetoanele; diametru, ovalitate, bătaie radială la cep; diametru, ovalitate, bătaie radială la flanșă; lățime palier central; lungime totală; poziție palier central față de flanșă și cep; raza manivelei; divizarea.

Scanned with OKEN Scanner

pentru fiecare capăt (fus și flanșă) a diametrelor ovalității, lungimilor totale și a diverselor porțiuni componente, a poziției relative a palierului central față de capete (fig. 5.6).

Instalația de control a unor arbori în trepte permite verificarea a 11 tipuri diferite (d.p.d.v. dimensional) a unor astfel de arbori pentru care s-au verificat: diametre, ovalități și conicități (fig. 5.7).

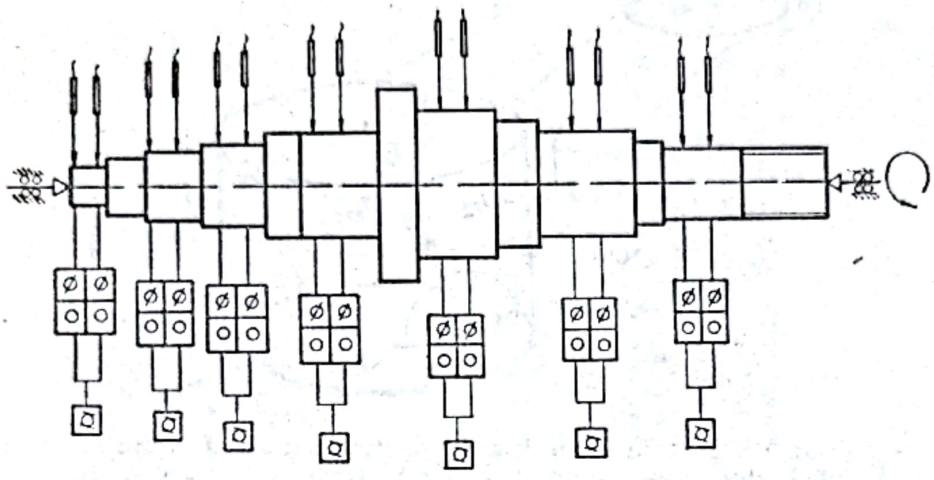


Fig. 5.7. Instalație de control arbori în trepte. Schema de măsurare și parametrii verificați:
diametru, ovalitate, conicitate pentru fiecare treaptă în parte.

Tehnologia și instalația de molibdenare a segmenților de foc pentru motoare OLTCIT

I.C.T.C.M.

Instalația de molibdenare a segmenților este pusă în funcțiune la I. A. Pitești.

Caracteristici. Tehnologia și instalația de molibdenare sînt destinate acoperirii cu un strat de molibden, depus prin metoda pulverizării termice cu flacără oxiacetilenică și sîrmă, a segmenților de foc care intră în componența motoarelor care echipează autoturismul OLTCIT în scopul măririi fiabilității cuplului de frecare: segment-cămașă-cilindru motor; instalația este concepută funcțional în 2 regimuri: automat, manual; instalația se compune din: utilaj propriu-zis de molibdenare; echipament de pulverizare termică cu flacără oxiacetilenică și sîrmă; instalație de ventilație.

Caracteristici tehnice: productivitatea, buc/h 600; nr. echipamente de pulverizare 2; gama de diam. segmenți, mm ∅40—175; grosimea stratului de molibden, mm 0,3—0,4; putere instalată, kW 7; consum gaze m^3/h; [oxigen (2,5 bar) 5,4; acetilenă (1,05 bar) 2,6; aer comprimat (5 bar) 170]; poziția dornului cu segmenți verticală; turația dornului cu segmenți, reglabilă 100—1 000 rot/min.

Avantaje tehnice. Tehnologia și instalația sînt o noutate pe plan național. Se realizează creșterea fiabilității, rezistenței la uzură și la coroziune a ansamblului segment-piston-cilindru.

Înlocuirea de produse și tehnologii. Tehnologia și instalația sînt o noutate pe plan național și elimină importul segmenților pentru motoarele OLTCIT.

Scanned with OKEN Scanner

Avantaje economice. Tehnologia și instalația realizează o economie valutară echivalentă cu 16 000 000 lei/an prin evitarea importului segmenților molibdenați și respectiv a licenței.

Posibilități de export. Tehnologia de molibdenare a segmenților poate fi oferită la cererea partenerului extern.

Competitivitate pe plan mondial. Tehnologia este la nivelul performanțelor unor firme specializate în producția de segmenți (firma GOETZE — R.F.G.).

Proiectată de I.C.T.C.M. București și executată de I. A. Pitești.

Utilaje și echipamente de confecționat ornamente pentru OLTCIT

I.C.T.C.M.

Utilajele sînt puse în funcțiune la I.S.B. Topoloveni.

Caracteristici. Utilajele sînt destinate confecționării a 3 tipuri de ornamente pentru OLTCIT, prin: curbare, înfășurare și întindere continuă a semifabricatului (profil).

Pentru fiecare tip de ornament OLTCIT s-au proiectat și executat cîte 1 utilaj și respectiv 2 echipamente de matrițare destinate definitivării dimensiunilor.

Caracteristici tehnice. Productivitate buc/oră 60; nr. posturi de lucru/utilaj 1; regim de lucru semiautomat; forța de deformare, kgf 8 000—9 000; putere instalată, kW 10; dimensiuni de gabarit, mm (utilaj) 4 000×2 500×2 000.

Avantaje tehnice. Utilajele sînt o noutate pe plan național, iar ornamentele executate pe aceste utilaje au fost atestate și însușite de partenerul francez al fabricării autoturismului OLTCIT.

Înlocuire de produse și tehnologii. Se înlocuiește importul produselor.

Avantaje economice. Se realizează o economie valutară echivalentă cu 3 500 000 lei/3 utilaje + 6 echipamente, prin evitarea importului acestora.

Posibilități de export. Se exportă autoturismele OLTCIT echipate cu aceste ornamente.

Competitivitate pe plan mondial. Produsele sînt la nivelul performanțelor produselor similare mondiale.

Proiectate și executate de I.C.T.C.M. București.

Mașina de prelucrat prin electroeroziune cu electrod masiv de mărime mijlocie pentru prelucrări tridimensionale ELER 03-SEM-3D-CNC.

Sistema de dispozitive pentru electroeroziune

I.C.T.C.M.

Proiectată de I.C.T.C.M. București și prototipul executat de I.C.T.C.M. București.

Sistema de dispozitive pentru electroeroziune seria 0, se va executa la beneficiar: Întreprinderea Electrotimiș Timișoara.

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristici. Sistema de dispozitive este destinată echipării mașinilor de prelucrare prin electroeroziune cu electrod masiv. Dispozitivele din sistemă realizează: prinderea electrozilor pe capul mașinii; prinderea pieselor pe mașini; controlul, centrarea și poziționarea electrodului sau a piesei; prinderea electrozilor pentru prelucrarea lor pe mașini-unelte de prelucrare prin așchiere.

Sistema de dispozitive se compune din: dispozitive de prindere a portelectrozilor pe capul de lucru al mașinilor de electroeroziune prin șuruburi și piulițe pentru canale —T— și a penelor de centrare; dispozitivele de prindere și orientare a electrozilor și portelectrozilor de tip — coadă — cu acționare hidraulică manuală, strîngere pe bucșă elastică și orientare pe prismă cu știft cilindric; dispozitive de prindere a portelectrozilor pe capul de lucru cu posibilități de reglare a mișcării în plan orizontal; portelectrozi de prelucrare electroerozivă tip — coadă — cu posibilitate de mișcare reglabilă a electrozilor; portelectrozi tip — coadă — pentru fixarea electrozilor; dispozitive de reglare și control a poziției piesei pe masa mașinii; dispozitive pentru fixarea și orientarea semifabricatelor de electrozi prin intermediul portelectrozilor tip — coadă — în vederea prelucrării lor pe mașini-unelte clasice (strung, freză, mașini de rectificat; dispozitive pentru fixarea și orientarea pieselor de prelucrat pe masa mașinilor de electroeroziune; dispozitive tehnologice (de spălare, casetă de absorbție).

Avantaje tehnice. Sistema de dispozitive pentru electroeroziune reprezintă o noutate pe plan național. Concepută ca sistem unitar de dispozitive asigură exploatarea rațională și eficientă a mașinilor de prelucrare prin electroeroziune echipate cu aceste dispozitive tip. Se realizează astfel trecerea la o nouă generație de mașini cu ciclu automat.

Înlocuirea de produse și tehnologii existente. Sistema de dispozitive a realizat tipizarea dispozitivelor pentru mașinile de electroeroziune și a înlocuit variantele de dispozitive neunitar concepute.

Avantaje economice. Produsele realizează o economie valutară echivalentă cu cca. 300 000 lei/sistema de dispozitive.

Linii tehnologice pentru realizarea piulițelor elastice și tip clips

I.C.T.C.M.

Liniile tehnologice sînt puse în funcțiune la Întreprinderea Mecanică Mediaș.

Caracteristici. Se realizează piulițe tip clips și elastice pentru autoturismul OLTCIT. Se compun din: prese de 35 tf pentru ambutisare, ștanțare, îndoire și decupare (piulițe tip clips); prese de 35 tf pentru decupare, ambutisare, perforare (piulițe hexagonale, elastice); dispozitive de avans automat al benzii; dispozitive de îndreptare automată a benzii; instalație pneumatică; instalație electrică.

Caracteristici tehnice: productivitate, piulițe clips, buc./min. 120; piulițe elastice, 60;

Numărul posturilor de lucru: piulițe clips, 2; piulițe elastice, 14; lățimea max. a benzii, 25; grosimea max. a benzii, mm: piulițe clips, 0,7; piulițe elastice, 1,3; pasul avansului, mm (piulițe elastice) 50; consum de aer (4—6 bar), Nm^3/h, 35; putere instalată, kW, 25; dimensiuni de gabarit, mm, 2 000×1 500×2 000.

Scanned with OKEN Scanner

Avantaje tehnice. Liniile și tehnologiile sînt o noutate pe plan național. Se realizează creșterea productivității cu 200% și se asigură efectuarea a 14 operații mecanice pe o presă.

Avantaje economice. Se realizează o economie valutară echivalentă cu 300 000 lei/linii prin eliminarea importului liniilor.

Proiectate de I.C.T.C.M. București și executate de Întreprinderea Mecanică Mediaș.

Scanned with OKEN Scanner

6

Stadiul tehnicii roboţilor în unele ţări avansate*)

A. M. Petrina

Din analiza informaţiilor asupra tehnicii roboţilor, prezentată în revista de referinţă a VINITI capitolul „Activitatea de producţie şi manipulatoarele“ a rezultat că creşterea anuală a roboţilor de producţie (RP) în ţările capitaliste reprezintă de exemplu 35% pe an. Cea mai mare creştere a numărului RP se observă la operaţiile de montaj. Expoziţiile industriale internaţionale de RP din perioada anilor 1985 ... 1986 au demonstrat că aceştia au înalt nivel tehnic: viteză de deplasare pînă la 5 m/s, eroarea de poziţionare $\pm 0{,}05$ mm, capacitatea de ridicare în limite largi, mulţi RP fiind dotaţi cu calculatoare analogice.

În prezent se cunosc mai mult de 600 modele de RP, de care se ocupă mai mult de 400 firme, dintre care 250 în Japonia, 50 în S.U.A., celelalte fiind în ţările vesteuropene. Cele mai mari firme constructoare de RP sînt „Mitsubishi“ şi „Kawasaki“ (Japonia), Cincinnati Milacron şi Unimation (S.U.A.), ASEA (Elveţia), DEA (Italia).

După datele asociaţiei britanice a lucrătorilor din industrie (BRA) parcul de roboţi în ţările capitaliste dezvoltate industrial este de 60 000 bucăţi. Din tabelul 6.1 rezultă evoluţia parcului de RP în perioada 1981 ... 1990. Baza parcului de RP în construcţia de maşini se foloseşte în operaţii auxiliare (încărcarea şi descărcarea automată a liniilor, a maşinilor de aşchiat, a preselor de forjat şi a altor instalaţii tehnologice) şi alte cîteva aplicaţii de bază (montare şi sudare, vopsire, acoperiri protectoare ş.a.).

Creşterea importantă a vitezei de lucru a roboţilor de producţie (RP) a permis extinderea utilizării roboţilor în multe sfere ale producţiei, ca de ex. la operaţii de forjare-matriţare, la care adesea operaţia de producţie durează cîteva secunde şi, la forţe cu înaltă viteză de acţiune, devine periculoasă pentru operator. Automatizarea prelucrării pe strunguri cu comandă program a permis înlocuirea sculelor în 5 ... 7 s; la sudare, în special în timpul sudării, în mai puţin de 0,5 s; la vopsire, unde se cere în prezent viteză mare a procesului, atinge 2 m/s. În tabelul 6.2, după datele BRA, se prezintă parcul de roboţi din ţări capitaliste industrializate.

Creşterea rapidă a parcului de RP în Japonia este rezultatul în primul rînd al faptului că s-a bazat pe licenţe cumpărate (în special din S.U.A.), iar cercetările ştiinţifice în acest domeniu s-au promovat odată cu cele ale specialiştilor de peste hotare, pe bază de convorbiri şi coope-

* Traducere, prelucrată de prof. dr. ing. Laurentie Sofroni şi ing. Paul Iordănescu, după articolul publicat în revista Vestnik Maşinostroenia, nr. 10, 1987, pag. 75—78.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.1.

Țări	1981	1985	1990 (prognoză)	Creșterea anuală, %	
				1981—1985	1985—1990 (prognoză)
Japonia	9 500	27 000	87 000	30	20
S.U.A.	4 500	16 000	56 000	35	30
R.F.G.	2 300	8 800	27 000	40	25
Elveția	1 700	4 100	8 300	25	15
Franța	790	2 100	6 500	28	25
Marea Britanie	713	2 700	10 000	40	30

Tabelul 6.2

Operația	S.U.A.*	Franța*	R.F.G.**	Marea Britanie**
Vopsire	290	236	775	193
Sudare în puncte	1 190	1 183	2 548	511
Sudare cu arc	270	338	1 781	411
Lustruirea și îndepărtarea bavurilor	30	45	25	52
Montare	50	262	753	294
Turnare în forme permanente	880	—	174	40
Turnare sub presiune	—	—	—	551
Turnare de precizie în forme obținute cu modele ușor fuzibile	120	—	—	16
Deservirea mașinilor unelte așchietoare	1 470	—	805	287
Deservirea instalațiilor de forjare-presare	—	—	173	74
Control și cercetare	—	45	—	56
Învățămînt și cercetare	—	125	210	165
Operații cu manipularea pieselor	1 950	1 233	1 179	130
Diverse alte operații	—	125	293	205

* Date din decembrie 1984; ** Date din decembrie 1980.

rare. Datorită acestui fapt Japonia a reușit să înlăture greutățile legate de etapa lungă a cercetărilor inițiale. Investițiile în perioada anilor 1968 ... 1985 s-a mărit de la 0,4 la 290 miliarde yeni. În anul 1990 se vor produce 85 000 RP pe baza a 520 miliarde yeni. Investițiile RP în producția de automobile în anul 1979 au reprezentat 38% iar în anul 1983 — 20%. Această scădere se explică prin faptul că RP au luat o largă utilizare în alte domenii de producție, în care mai înainte nu se utilizau. În afară de aceasta, dacă 100% din investiții în anul 1979 reprezentau 38 miliarde yeni, în 1983 — 183 miliarde yeni. S-a schimbat și compoziția calitativă a parcului de RP; astfel, a crescut mult numărul de RP cu inteligență artificială. Tendința de perspectivă în dezvoltare RP este crearea roboților dotați cu sisteme de senzori pentru detectarea volumului, culorii și realizarea comenzilor după voce.

Într-adevăr, RP executați de firmele japoneze nu sînt copii fidele ale originalului. Majoritatea schimbărilor la RP sînt dirijate spre simplificarea construcției cu scopul scăderii costului și de aceea RP japonezi

Scanned with OKEN Scanner

sînt accesibili unui cerc larg de utilizatori. În anul 1979 a început creșterea intensă a exportului RP din Japonia. În anul 1985 partea lui a reprezentat 35% (în anul 1979 — 3%).

Trebuie amintit că în anul 1982 a apărut saturația pieții interne de RP pentru automatizarea prelucrărilor mecanice și că în construcția de roboți a început să domine producția de roboți pentru operații de montaj, ieftini și de construcție simplă. Costul roboților de montaj, de ex. model „Scara" produși de firma „Hitachi", reprezintă în funcție de modificări de la 4 la 5 milioane yeni, care este mult mai mic decît costul roboților de montaj ai firmelor din S.U.A. (de ex. robotul de montaj model PUMA-500 al firmei „Unimation" este de 6 milioane yeni).

Larga utilizare a operațiilor de montaj în construcția de aparate și în electronică a impus construcții cu mare precizie de poziționare. La astfel de cerințe răspunde construcția model „Scara". Primul model experimental de lucru „Scara" a fost realizat în laboratorul universității „Yamanashi" (Japonia). Pentru crearea unui model industrial al acestei operații în anul 1978 a fost creată o grupă de cercetare coordonatoare, ale cărei rezultate a constituit baza modelului de lucru. Mîna operațională, o construcție articulată cu acționare electrică cu motoare de curent continuu, care lucrează în suprafața orizontală, are patru grade de libertate (trei unghiulare, și unul liniar) și înalte caracteristici dinamice: viteza de deplasare pînă la 1,5 m/s, accelerația pînă la 9,8 m/s^2. Pentru dirijarea RP se folosesc microcalculatoare. S-au introdus noi tipuri de operații tip „Scara", pentru folosire în interiorul țării și pentru export. După prognoza specialiștilor japonezi 40% din RP se utilizează pe piața internă pentru operații de montaj. În legătură cu aceasta firmele de bază în construcția de roboți cresc producția de roboți de montaj. În Japonia, în anii 1984—1985, în afară de RP generația întîi au apărut RP de generația a 2-a, iar în 1990 va apărea generația a 3-a. În continuare sînt expuse date privind volumul producției de RP între anii 1968 și 1990 și distribuția pe tipuri a acestora.

Anul	1968	1970	1975	1978	1979	1985	1990
Creșterea anuală, în buc	200	1 700	4 400	10 100	—	49 700	84 200
Numărul total, în buc	200	2 300	16 400	42 300	—	100 000	327 000
Costul, în mln. yen	400	4 900	11 000	27 000	—	290 000	525 000
Tipul operației:							
— cu reglaj manual (manipulatoare), %	—	—	—	16	7	11	9
— cu succesiune, precisă a mișcărilor, în %	—	—	—	70	74	57	56
— cu succesiune variabilă a mișcărilor, în %	—	—	—	6	8	18	17
— cu inteligență artificială, în %	—	—	—	3	5	5	8

Scanned with OKEN Scanner

În Japonia urmează un program meticulos de cercetări tehnico-științifice și de măsuri pentru stimularea introducerii RP. În prezent în această țară se dezvoltă și acționează un larg program de dezvoltare a tehnicii roboților, care înglobează cercetări teoretice fundamentale și probleme precise de aplicare a lor. În domeniul construcției RP se observă următoarele tendințe: miniaturizarea, micșorarea masei propriu-zise, creșterea puterii acționării, creșterea mobilității manipulatoarelor, utilizarea materialelor compozite. În domeniul sistemelor de conducere se presupune crearea RP capabili să studieze, să prelucreze sistemul de legătură om-robot, perfecționarea limbajelor de programare. Trebuie amintit că dacă cercetările în firmele particulare sînt concentrate în jurul problemei strîns legată de utilizarea RP (creșterea vitezei de deplasare a organelor de lucru, larga utilizare a schemelor modul, perfecționarea sistemelor de dirijare, micșorarea gabaritelor), cele ale organizațiilor de stat acordă mare atenție problemelor teoretice (proiectarea și construcția noilor tipuri de traductoare, creșterea preciziei poziționării RP, simplificarea construcției lor, căutarea celor mai bune materiale și proiectarea noilor tipuri de motoare, crearea microprocesoarelor de înaltă eficacitate pentru sistemul de conducerea producției, stabilirea de limbaje de programare specializate). După părerea specialiștilor japonezi, rezolvarea problemelor care se pun va fi favorizată în mare măsură de rezultatele obținute în cursul realizării proiectului de creare a calculatoarelor de generația a cincea.

În S.U.A. primii RP s-au creat în mijlocul anului 1950, iar în anul 1961 a apărut comunicarea asupra manipulatoarelor pentru automatizarea operațiilor de sudare și alte operații. În anul 1963 a fost creat RP model „Wersatran" și „Unimate" care se exploatează și în prezent. Acum S.U.A. ocupă locul doi în lume (după Japonia) în producția și introducerea RP în construcția de mașini. După datele asociației pentru problemele de producție (RIA) parcul de RP al S.U.A. la sfîrșitul anului 1985 a reprezentat 20 000 buc. și către anul 1990 va atinge 250 000 buc. Firme de bază în producția de RP din S.U.A. sînt „Cincinnati Melacron" și „Unimation" care pînă în anul 1982 au produs 80% din producția de RP din S.U.A.

În construcția de mașini firmele din S.U.A. se caracterizează prin introducerea RP universali, ca modelul T^3 al firmei „Cincinnati Milacron" modelul „PUMA" și seria „Unimate" ale firmei „Unimation". Costul mediu al RP de tip universal în S.U.A. în anul 1985 a fost de 35 000 de dolari; în perioada 1985 ... 1990 poate scădea anual de ex. cu 10%, în anul 1990 putînd ajunge la 10 000 dolari. Firma „Unimation în anul 1985 a introdus 8 000 RP. Roboții acestei firme sînt înzestrați cu acționări hidraulice, deoarece se consideră că acestea au înaltă fiabilitate și putere. Toate modelele de RP sînt dotate cu sisteme perfecționate de acționare și limbaj de programare VAL. Baza modelului acestei firme este RP de gabarite mici model PUMA. Robotul este destinat pentru montajul pieselor (cu masa pînă la 3,5 kg) automobilului. Deoarece 90% din piesele automobilului au masa mai mică de 1,4 kg RP „Puma" se folosesc în construcția de mașini. Dintre ultimele noutăți trebuie amintite operațiile de montaj efectuate de robotul model „Unimate 100".

Firma „Cincinnati Milacron" se specializează în producția de RP de gabarite mari. În seria T^3 de RP sînt cuprinși cei cu articulații, care inițial au avut nu șase ci trei grade de libertate.

Printre firmele constructoare de RP se află de asemenea firma „GMF Robotics" care execută montaj cu RP de construcție proprie. După

anii 1982 . . . 1984 firma a devenit lider în S.U.A. Dacă în anul 1982 volumul producției acestei firme era mai mic de 3% din volumul producției de RP din S.U.A., în anul 1983 el a crescut pînă la 9% și a atins 250 buc, iar în anul 1984 s-a mărit la 18,4% (1 100 . . . 1 300 buc). Producția de serie a RP și introducerea metodelor avansate de producție a permis firmei să scadă mult costul RP. În anul 1985 firma preconiza să atingă 25% din întreaga producție de RP a S.U.A. și să crească numărul acestora la 2 200 . . . 2 500 buc.

După prognoza experților S.U.A. producția de automobile a S.U.A. va rămîne cea mai mare utilizatoare de RP. În întreprinderi lucrau 10 000 roboți RP, printre care 2 000 din import. Durata de amortizare a investițiilor, 2,5 ani. În anul 1990 costul producției de RP a S.U.A. este de peste 2 miliarde dolari, la volumul producției de aproape 20 000 RP și de aceea durata de recuperare a cheltuielilor poate fi de 2 ani. Cu sisteme tehnice vizuale vor fi prevăzuți 20% din toți RP, cu traductoare tactile — 20%, cu sistem adaptor de conducere — 88%. În anul 1995, 30% din toți RP vor lucra cu sistem SAD/SAM, 50% vor avea servocomandă, 10% pot realiza sortarea și alegerea obiectelor în producția de serie.

La sfîrșitul anilor 70 în țările Vestului Europei s-au extins mult cercetările în domeniul tehnicii roboților, mărind substanțial nivelul utilizărilor RP.

În *Elveția* printre cei mai mari producători de roboți se află firmele ASEA, ESAB, „Spine Robotics". Firma ASEA furnizează în prezent RP în 100 țări. Modelele de bază de RP ale acestei firme sînt: IRb-6, IRb-60, IRb-90, IRb-1000. Acestea lucrează cu acționări electrice, care au înaltă precizie de poziționare, dotate cu microprocesoare și interfețe pentru racordare la calculatorul central. Acești RP se folosesc pentru montaj, sudare, prelucrări mecanice, tratament termic și alte operații. Prezintă interes industrial RP model „Spine" al firmei „Spine Robotics", cu 7 grade de libertate și manipulatoare de construcție flexibilă. RP fabricați în Elveția pot intra în compunerea complexelor tehnologice.

În *Marea Britanie* majoritatea RP intrați în producție sînt de import din diferite țări. Spre anul 1983 utilizarea roboților a pătruns la mai mult de 250 firme. După datele statistice ale BRA numărul RP introduși în anul 1983, de proveniență japoneză, a fost 118 față de 164 buc. în anul 1982. În același timp numărul de RP din Marea Britanie s-a mărit de la 287 în anul 1982 la 493 în anul 1983. Firmele constructoare de RP din țările Vest-Europene păstrează deocamdată loc de bază pe piața de desfacere a RP din Marea Britanie. Un anumit specific în Marea Britanie păstrează și distribuția RP după specificul producției (v. tabelul 6.2). Cea mai largă utilizare au RP pentru automatizarea sudării caroseriei automobilelor, controlul ultrasonic al panourilor, asamblarea ansamblurilor electronice, tăierea cu laser a metalelor. Cel mai mare producător de RP din Marea Britanie este firma „Telford", care în înțelegere cu firma „Unimation" (S.U.A.) produce modelele ei de bază PUMA-250, 560 și 760. Cercetările în Marea Britanie sînt dirijate spre crearea de palpatoare sensibile, de sisteme grupate de dirijare a RP, de roboți mobili, construcții cu rază mare de acțiune cu sisteme de detectoare vorbitoare.

În *R.F.G.* introducerea roboților se realizează pe trei direcții: pentru automatizarea operațiilor tehnologice de bază și auxiliare, pentru cercetări; în acest scop se folosesc RP „Scara". Firma KUKA produce RP seria IR cu mobilitate programată. Seria IR 100 asigură deplasarea sarcinilor cu

Scanned with OKEN Scanner

masa pînă la 60 kg. Seria IR 200 include cinci variante de roboți portal, seria IR 600 — roboți modificați. Firma „Reis“ se specializează în RP tip „Scara“, unul dintre aceștia fiind H-15.

Franța este unul dintre producătorii și utilizatorii de bază ai sistemelor de prelucrare a datelor din Vestul Europei, cu atît mai puțin rămînînd în urmă în domeniul RP în raport cu R.F.G. și Italia. Între anii 1980 . . . 1985 piața RP în Franța a crescut numai cu 16% pe an față de 30% în Vestul Europei. Se presupune că începînd cu anul 1985 creșterea anuală a numărului de RP va fi de 64% față de 39% în întreaga Europă Vestică. În prezent cea mai mare producătoare de RP este firma „Régie Renault“, care se ocupă de roboți din anul 1974. În Franța s-a întocmit un larg program de cercetări și exploatare a roboților RP; la nivel de stat, în anul 1979 a început și a fost dirijat spre direcții cu prelucrări în coordonate, GPS, creșterea calificării specialiștilor. Firmele ce fabrică RP sînt orientate spre cercetări propriu-zise și prelucrări în care se folosește avantajul cooperării internaționale în probleme tehnico-științifice.

În *Italia,* de fabricarea RP se ocupă aproape 40 firme. Creșterea anuală este de 500 . . . 600 RP. Guvernul finanțează lucrul în domeniul creării uzinelor-automat, fără lucrători, incluzînd tehnica roboților, alocînd pentru dezvoltarea lor, în anul 1983, 46 miliarde lire. Firma Comau, care controlează în proporție de 60% firma „FIAT“ se specializează în producția de roboți model „Smart“, destinați sudării în puncte. Firma „Olivetti“ produce RP model „Sigma“. Firma DEA lansează pe piață trei serii standard pentru operații de măsurări universale „Bravo“: seria AA pentru controlul pieselor de gabarite mici matrițate, turnate și prelucrate mecanic; seria 11 pentru controlul pieselor și panourilor de dimensiuni mici pentru automobile; seria 42 pentru verificarea preciziei executării caroseriilor auto și a pieselor și subansamblurilor de dimensiuni mari.

Efectul economic la introducerea RP depinde de mulți factori. Cel mai important dintre aceștia este costul lor, care depinde de următoarele caracteristici ale RP: numărul de grade de libertate, volumul zonei de lucru, capacitatea de încărcare și complexitatea sistemului de conducere. RP costisitori pot îndeplini un cerc mai larg de operații, iar sistemul de conducere de clasă mai înaltă garantează adaptarea optimă a RP la noi tipuri de operații. De ex. costul adaptării robotului echipat cu sistem tehnic de vedere este de 150 000 de dolari; în anul 1990 costul său, după cum socotesc specialiștii S.U.A. va scădea de 1,5 ori. Cheltuielile totale prin introducerea RP se compun din cheltuielile pentru achiziția RP însuși, pentru montajul, pornirea și reglarea acestuia, pentru utilajele auxiliare. Aceste cheltuieli depind de tipul RP și operația tehnologică robotizată.

Aspectul economic de bază al introducerii RP peste hotare este ieftinirea relativă a acestora prin creșterea posibilităților lui funcționale. Pentru aceasta există norme de eficacitate economică în exploatarea RP: introducerea unui RP înlocuiește în medie 2,5 muncitori; lucrul în trei schimburi la instalația tehnologică de bază; durata de lucru a unui RP — nu mai mult de trei ani.

Scanned with OKEN Scanner

TM
CM

III

MAȘINI, UTILAJE ȘI SDV-URI. PROIECTARE, CONSTRUCȚIE, TIPIZARE

Scanned with OKEN Scanner

7
Robocarele sistemelor flexibile de fabricaţie

Dr. ing. *Alexandru Dorin*
Ing. *George Enciu*
Institutul Politehnic Bucureşti

Un sistem flexibil de fabricaţie (SFF) *1* este alcătuit din subsistemul de prelucrare *2*, care include un număr de maşini-unelte automatizate (de regulă cu comandă numerică) pe care se realizează prelucrarea automată a semifabricatelor în orice succesiune şi schimbarea automată a sculelor şi a semifabricatelor, subsistemul *3* de transfer al pieselor prelucrate în cadrul SFF şi subsistemul informaţional *4* (fig. 7.1). Într-o serie de variante, într-un SFF pot fi incluse maşini de prelucrat prin deformare, maşini de prelucrat prin procedee neconvenţionale, sisteme de asamblare automatizate, maşini de curăţire şi spălare a pieselor, maşini de măsurat, depozite cu deservire automată pentru semifabricate, piese, scule etc.

Subsistemul de transfer al semifabricatelor şi pieselor prelucrate se compune din magazinul *3.1*, din care se face automat extragerea semifabricatului ce urmează să fie prelucrat, mecanismul de transfer *3.2*, care realizează deplasarea semifabricatului în mod automat, şi echipamentul de comandă *3.3*, care realizează corelarea între deplasarea pieselor de către sistemul de transfer şi ciclul de prelucrare al acestora în cadrul subsistemului de prelucrare *2*.

Subsistemul informaţional *4* asigură comanda automată a celorlalte subsisteme componente, *2* şi *3* şi controlul automat al funcţionării SFF prin culegerea şi prelucrarea datelor provenite din exploatare.

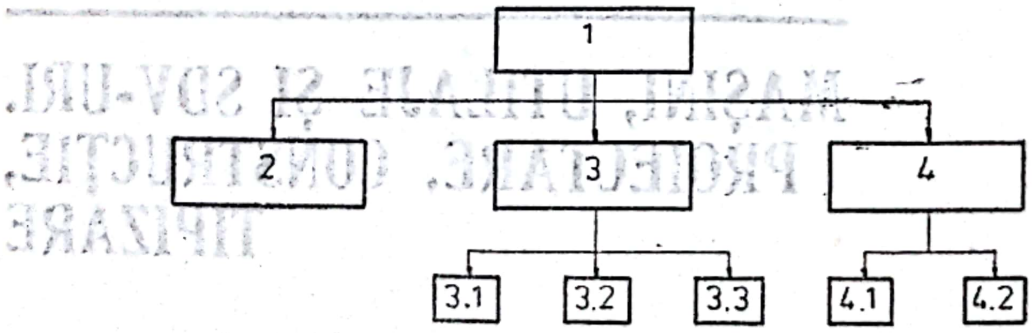


Fig. 7.1.

În funcţie de structura organizatorică, SFF se realizează sub formă de modul tehnologic flexibil (MTF), linie automată flexibilă (LAF), subsecţie automatizată flexibilă (SBAF), secţie automatizată flexibilă (SAF) şi întreprindere automatizată flexibilă (IAF). Gradul lor de ierarhizare este prezentat în fig. 7.2, în care MUAg1 reprezintă maşina-unealtă agre-

Scanned with OKEN Scanner

gat concepută pe baza unor subansambluri tipizate cu comandă prin automat programabil, MUAg2 — mașina-unealtă agregat construită pe baza unor subansambluri speciale cu comandă numerică (CN), MUAg3 — mașina-unealtă agregat cu capete revolver, MU1 — mașina-unealtă cu comandă prin automat programabil, MU2 — mașina-unealtă cu CN.

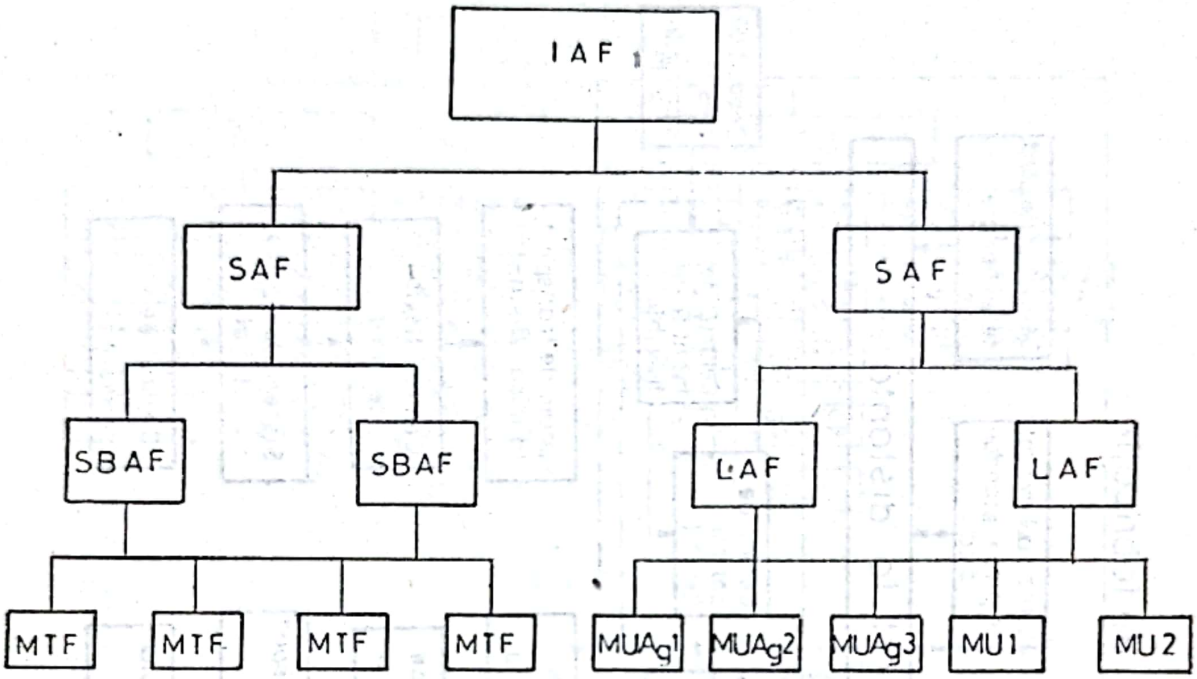


Fig. 7.2.

Analizînd structura unui sistem flexibil de fabricație la nivelul diferitelor trepte de automatizare, se observă din fig. 7.3 implementarea sistemelor de transport locale sau pe distanță mare, care deservesc sistemul de prelucrare propriu-zis și sistemele de control sau de montaj.

În funcție de tipul pieselor transportate, de precizia de adresare, de viteza de transport, precum și în funcție de construcția sistemului flexibil deservit, sistemul de transport (ST) poate fi realizat într-o varietate de tipuri constructive, pe baza subsistemelor prezentate în fig. 7.4. Implementarea totală în sistemul flexibil de fabricație a generat și pentru sistemele de transport variante constructive și de comandă corespunzătoare diferitelor grade de flexibilitate (fig. 7.5).

Pentru proiectarea unui sistem de transport (ST) trebuie parcurse următoarele etape:

1. Analiza variantelor de dispunere a utilajului tehnologic și a configurației ST (fig. 7.6 și 7.7; *1* — mașina-unealtă; *2* — magazin de piese; *3* — sistem de transport). Utilajul tehnologic (mașini-unelte, instalații de tratament termic, mașini de măsurat în coordonate etc.) poate fi dispus în linie pe un singur rînd, în linie pe mai multe rînduri sau circular. La rîndul său ST poate fi simplu sau multiplu, plasat în interiorul sau în exteriorul utilajului tehnologic, cu funcționare intermitentă sau continuă. Dacă se are în vedere drumul parcurs de ST, atunci acesta poate fi liniar, circular sau combinat.

Scanned with OKEN Scanner

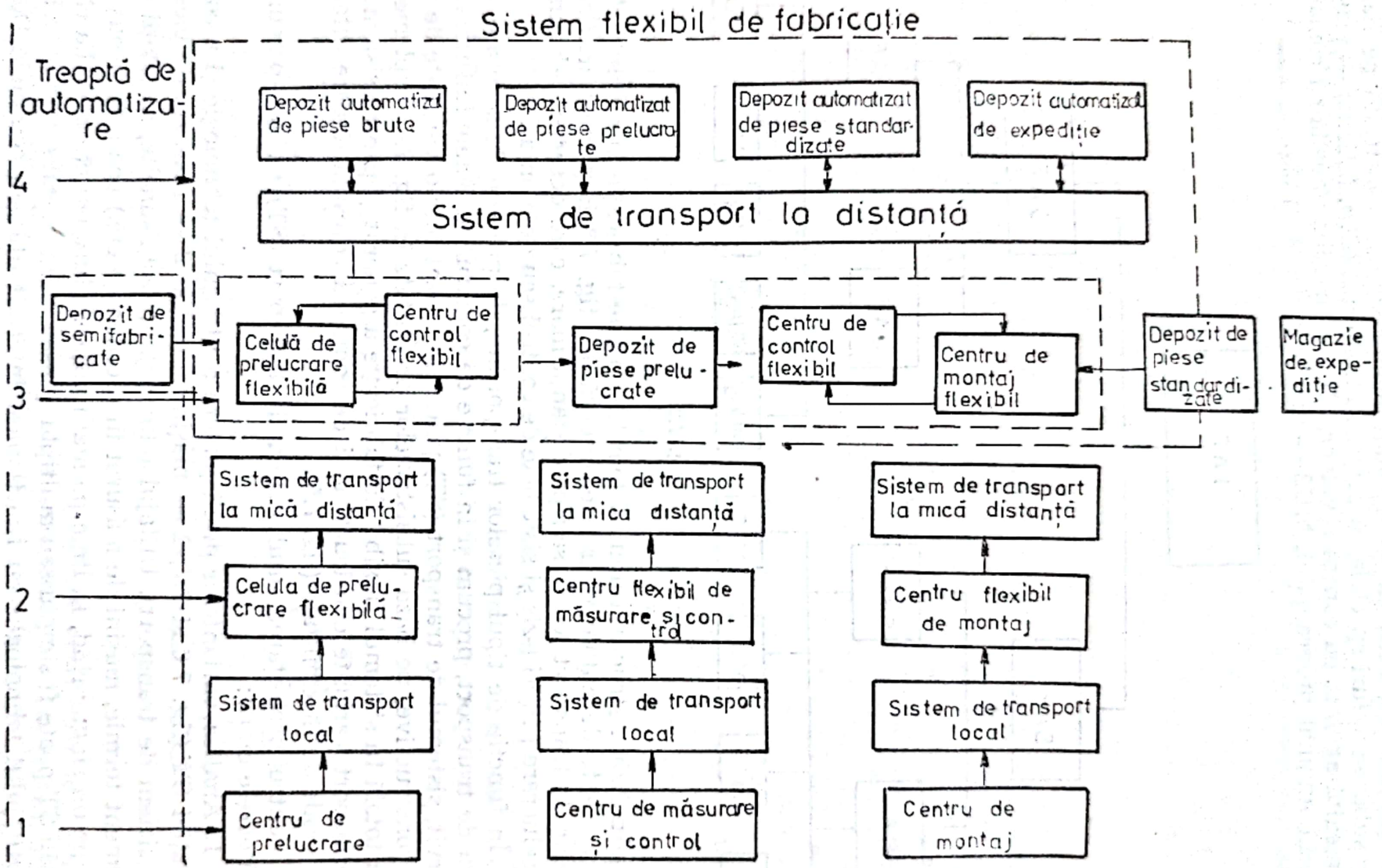


Fig. 7.3.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru alegerea ST se recomandă ca cele care au posibilitatea deplasării pe ambele laturi ale utilajului tehnologic să fie folosite pentru deservirea unui număr mic (de la 1 la 6) de utilaje și cu timp relativ mare de prelucrare. ST cu traiectorie circulară care deservesc un număr mai mare de șase utilaje tehnologice și timp mediu de prelucrare este indicat

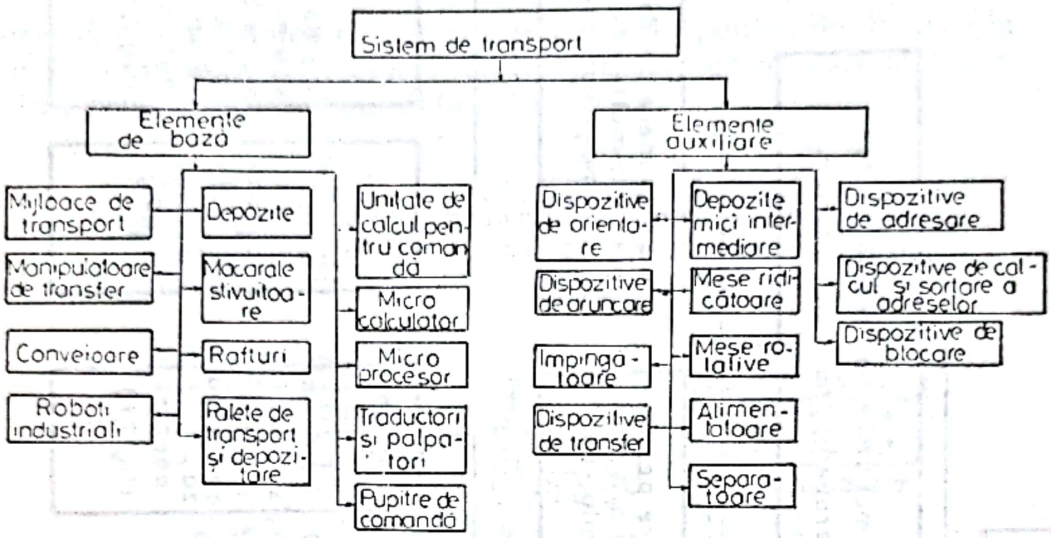


Fig. 7.4.

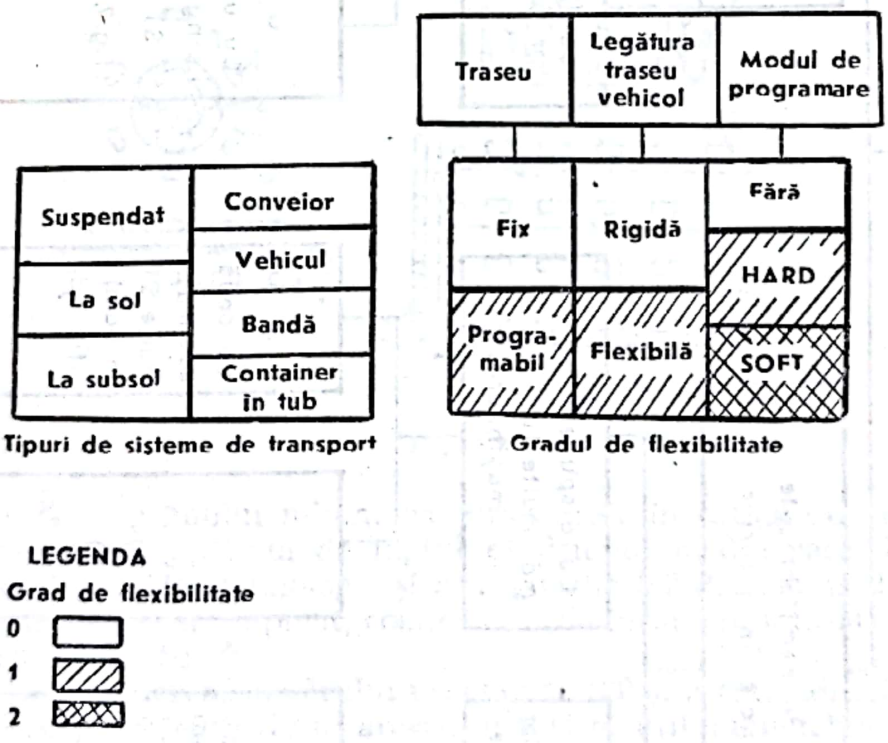


Fig. 7.5.

să fie cu funcționare intermitentă, iar în cazul unui timp mic de prelucrare cu funcționare continuă.

2. Alegerea variantei optime de amplasare a utilajului tehnologic și a configurației traseului sistemului de transport. Pentru aceasta se analizează suprafața ocupată de utilajul tehnologic și drumul minim par-

Scanned with OKEN Scanner

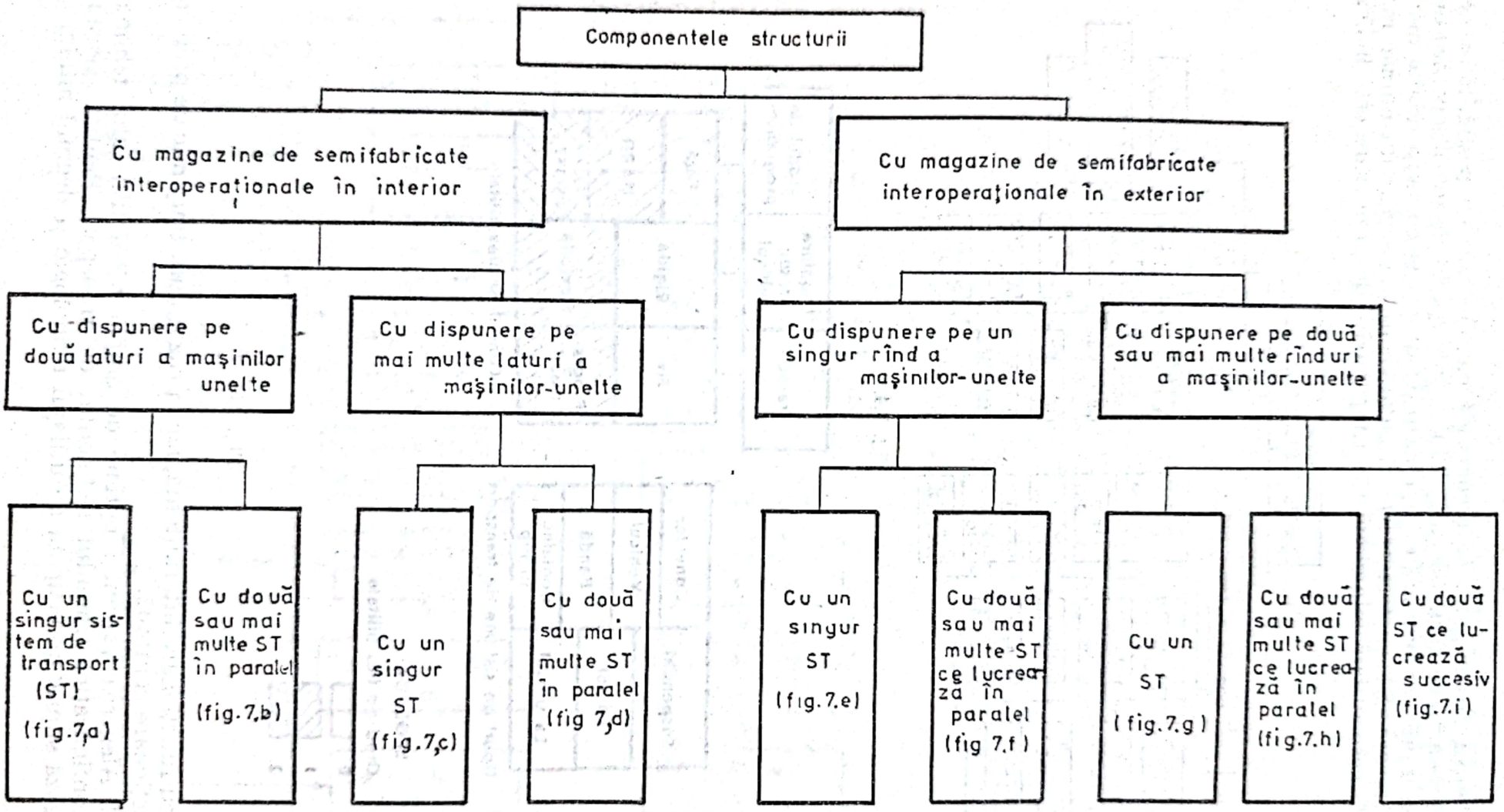


Fig. 7.6.

Scanned with OKEN Scanner

curs de ST pentru realizarea unei operații de transport la o singură adresă sau a unui ciclu elementar.

Drumul mediu $\overline{D}$ se calculează cu formula

$$\overline{D}=\sum_{i=1}^{l} d_i/l,$$

în care d_i este mărimea cursei efectuate de ST pentru deplasarea la adresa i, iar l — numărul adreselor operațiilor de transport care sînt posibile de realizat pentru configurația dată a ST.

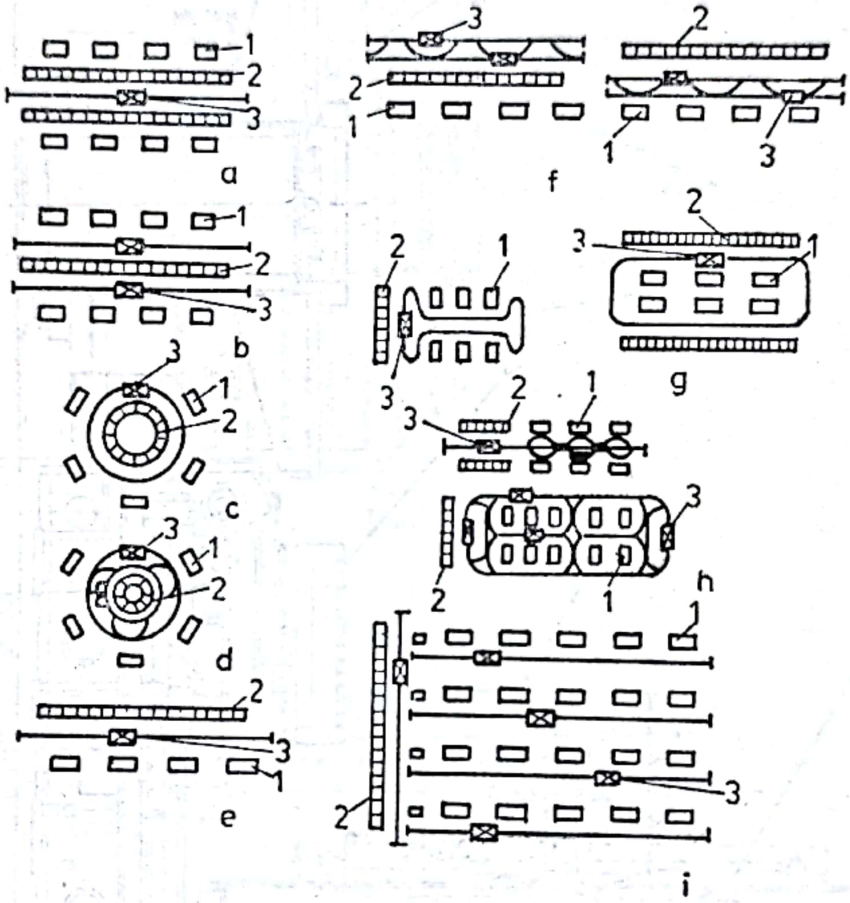


Fig. 7.7.

Alegerea drumului minim parcurs de ST în calitate de criteriu de optimizare este justificată de faptul că drumul mediu care depinde de dispunerea utilajului tehnologic și configurația ST determină durata operației de transport și, implicit, coeficientul de încărcare a utilajului și deci și productivitatea SFF.

3. Determinarea numărului necesar de ST și a caracteristicilor acestora pentru coeficienții de încărcare impuși ai utilajului tehnologic.

Sistemele de transport pot fi de tip staționar sau mobil (robocar).

Se vor prezenta cîteva exemple de sisteme de transfer-transport din prima categorie. Astfel, în fig. 7.8 este prezentată celula flexibilă CPFH-800CF2 cu sistem de transport *1*, cu acționare electromecanică, ce efectuează mișcarea de transport pe șine și mișcări de translație și de rotație în vederea transferului pieselor paletate la și de la centrul de prelucrare *2* și, respectiv, punctul de stocare *3*.

Scanned with OKEN Scanner

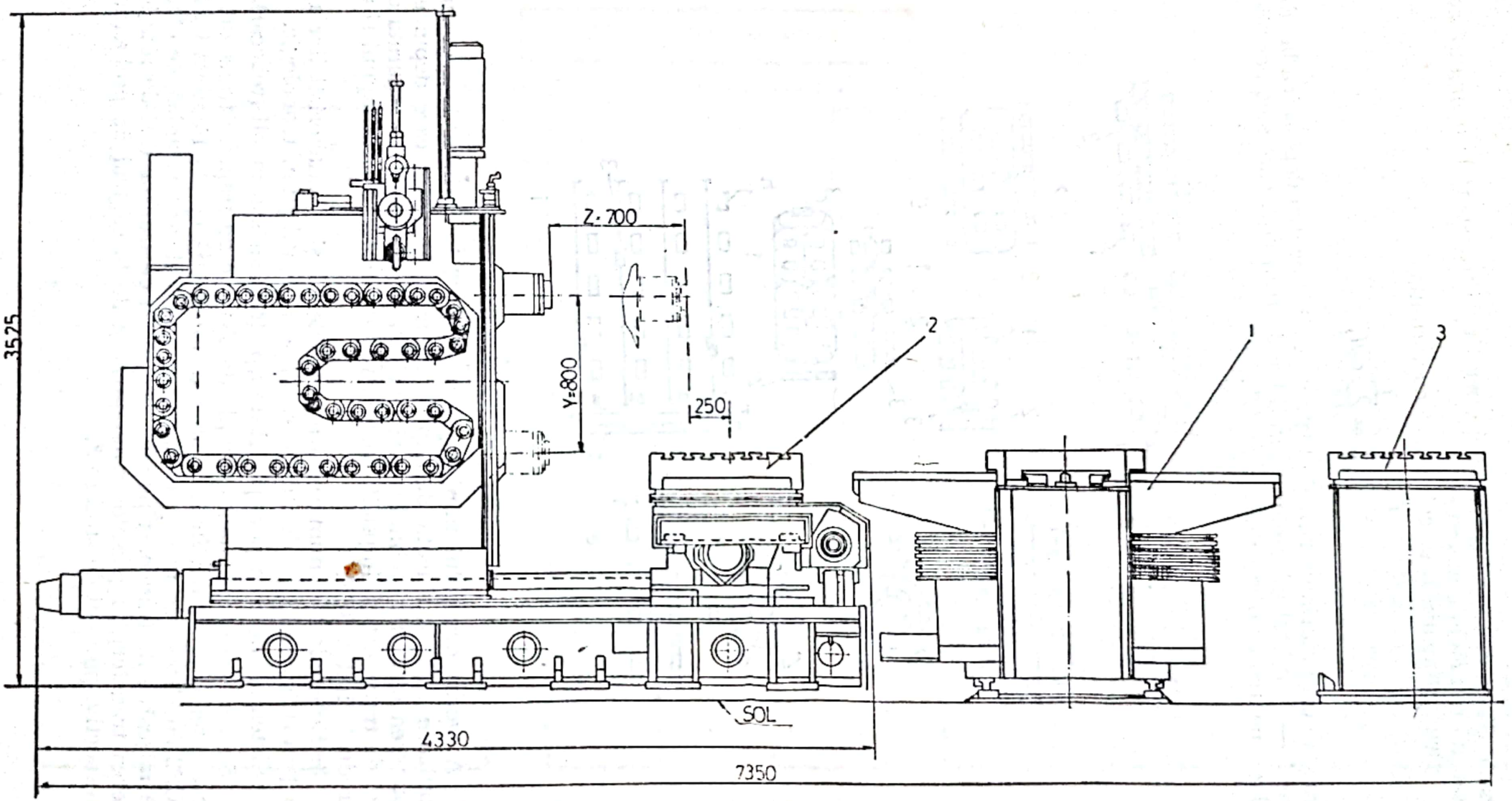


Fig. 7.8.

Scanned with OKEN Scanner

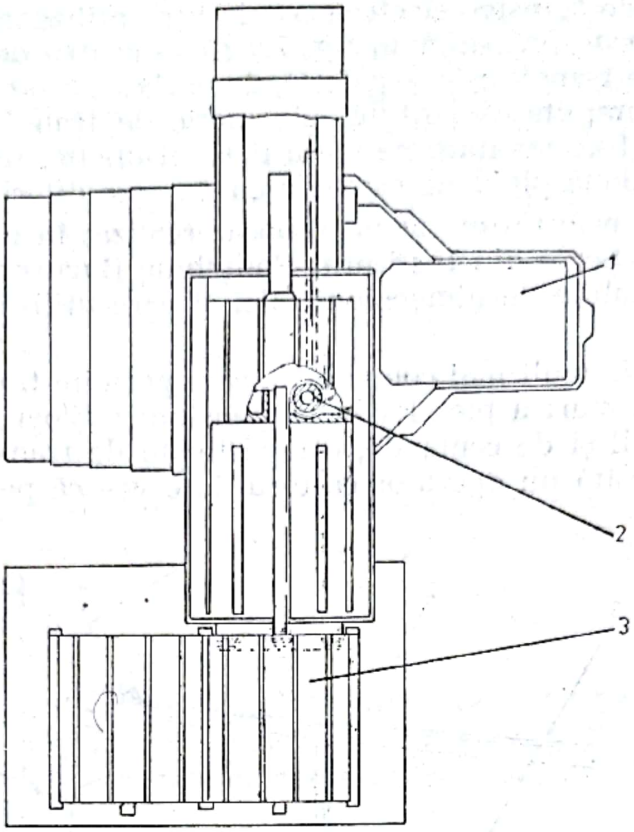
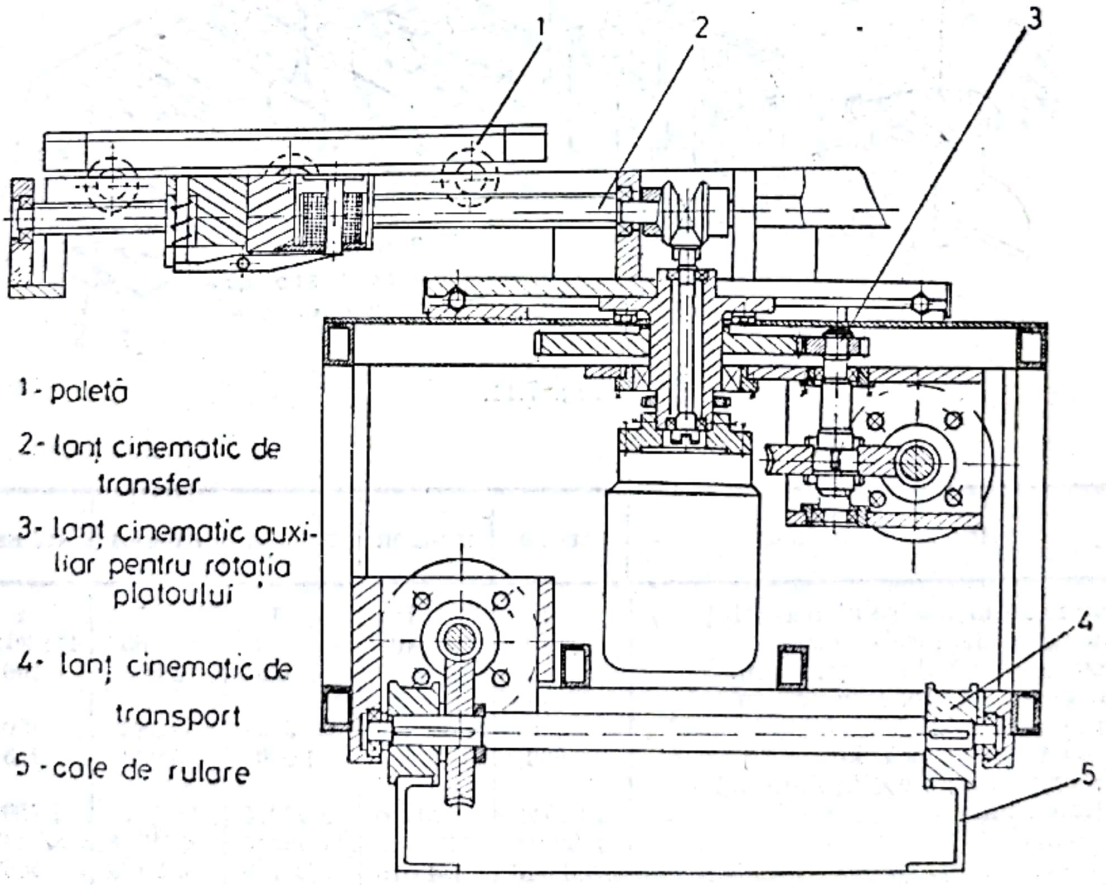


Fig. 7.9.



1 - paletă

2 - lanț cinematic de transfer

3 - lanț cinematic auxiliar pentru rotația platoului

4 - lanț cinematic de transport

5 - cale de rulare

Fig. 7.10.

Scanned with OKEN Scanner

Un sistem de transfer electromecanic care utilizează mecanismul pinion-cremalieră este prezentat în fig. 7.9 (*1* — centru de prelucrare; *2* — lanț cinematic de transfer; *3* — paletă), deservind tot o celulă flexibilă. Se poate remarca simplitatea lanțului cinematic de transfer care utilizează două cremaliere fixe montate pe masa mașinii-unelte, respectiv pe paletă și un arbore cu două pinioane coaxiale cu numere diferite de dinți.

În fig. 7.10 este prezentat un robocar realizat în cadrul Catedrei de Mașini-Unelte și Scule din Institutul Politehnic București ce poate transporta piese paletabile de dimensiuni mici și care utilizează un mecanism șurub-piuliță.

O construcție mult mai complicată, care permite transportul și transferul pe distanțe mari a pieselor de dimensiuni mijlocii, avînd un sistem propriu deplasabil și de comandă, este sistemul de transport prezentat în fig. 7.11, ce necesită un operator care să deservească permanent sistemul de transport.

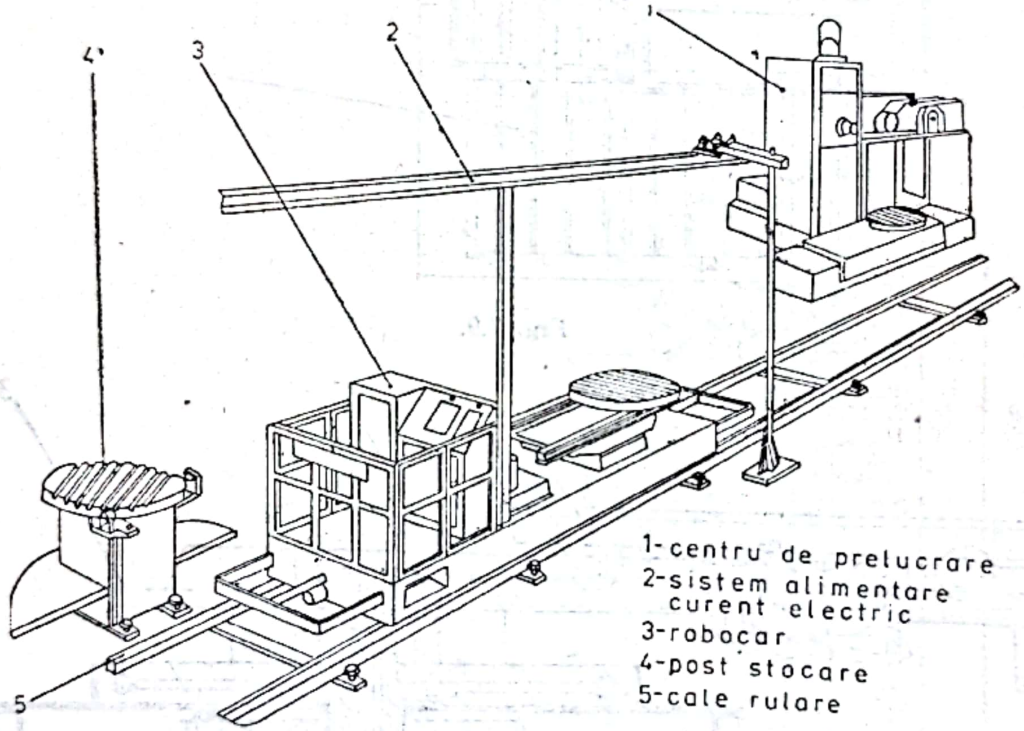


Fig. 7.11.

Modelul robocarului	PT-E50	PT-E50R	PT-E201	PT-E300	CV-E25
Modul de urmărire al traseului	I	I	I	I	I
Viteza de deplasare, m/min	40	40	50	65	40; 20; 6
Raza maximă de rotație, mm	1 200	1 200	1 800	1 500	700
Capacitatea bateriilor de acumulatoare, Ah	100	100	335	210	50
Masa transportată, kg	600	500	1 000	5 000	250
Gabarit (lungime×lățime×înălțime), mm	1 840× ×860× ×1 516	2 090× ×860× ×1 516	2 600× ×1 000× ×1 710	2 010× ×810× ×1 320	1 750× ×700× ×500
Masa robocarului, kg		480	1 500	1 000	380

În continuare vor fi tratate unele probleme referitoare la utilizarea robocarelor în ST. Acestea sînt folosite în prezent în proporție de 34% în SFF datorită caracteristicilor pe care le au: manevrabilitate ridicată, proprietăți dinamice bune, fiabilitate bună, posibilități de autodiagnoză.

Din punctul de vedere al sistemului de ghidare, robocarele pot fi fără șine sau pe șine. Acționarea lanțurilor cinematice ale unui robocar poate fi electrică, mecanică, hidraulică sau combinată.

Din punctul de vedere al sistemului de dirijare, robocarele pot fi inductive (direcționate cu ajutorul unui cablu îngropat în podea) sau cu conducere (direcționate cu ajutorul unei benzi magnetice sau optice). De exemplu, firma Daifuki (Japonia) fabrică robocare inductive (I) sau cu conducere (C) ale căror caracteristici sînt date în tabelul 7.1.

În fig. 7.12 este prezentat un robocar inductiv (*1* — sistemul de urmărire al traseului; *2* — sistemul de cuplare locală; *3* — sistemul tactil de blocare; *4* — sistemul de acționare a rotirii; *5* — platforma de încărcare; *6* — acumulatoarele; *7* — șasiul; *8* — sistemul de acționare principal; *9* — sistemul de comandă; *10* — sistemul de locație îndepărtată). Suprafața superioară a robocarului este folosită ca platformă de încărcare; pe aceasta pot fi plasate dispozitive de încărcare (palete), mese rotative, casete etc. și chiar sistemul de încărcare descărcare care, de regulă, este un manipulator cu două grade de libertate cu acționare pneumatică.

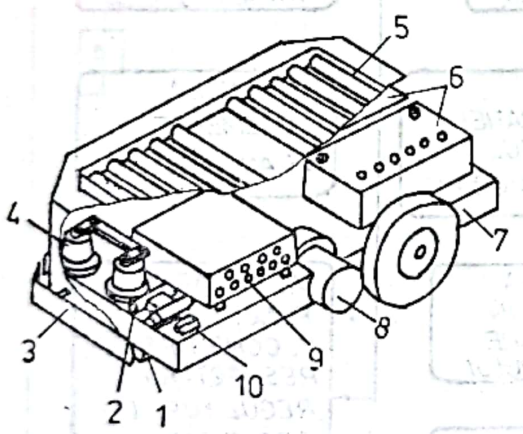


Fig. 7.12.

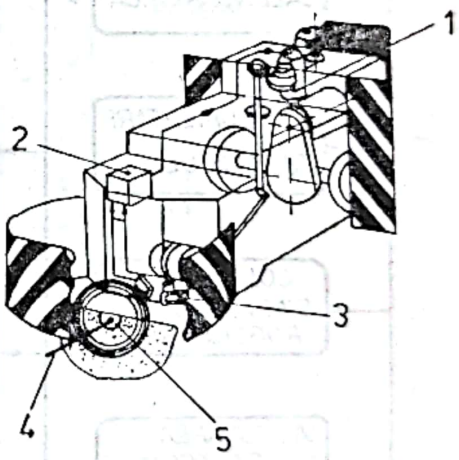


Fig. 7.13.

Tabelul 7.1

CV-E100	CV-E200	CV-E300	CV-101	FW-P05	FW-P35	PT-P50	FW-M10
I	I	I	C	C	C	C	C
60; 30; 8	50; 25; 6	40; 20; 6	30	25	15	40	45
900	1 100	1 200	600	500	1 500	1 000	600
140	280	280	35	35	35	100	50
1 000	2 000	3 000	80	30	350	600	120
2 000×	2 550×	2 550×	1 100×	700×	1345×	1 840×	1 275×
×950×	×1 250×	×1 250×	×550×	×490×	×800×	×860×	×650×
×550	×610	×610	×680	×350	×320	×516	×400
900	1 700	1 700	250	50	210	420	150

Scanned with OKEN Scanner

În fig. 7.13 este prezentat alt robocar inductiv (*1* — motorul pentru acționarea roții directoare; *2* — comparator de direcție și amplificator (cutia de ghidare); *3* — bobine de inducție; *4* — fir director; *5* — izolație.

Sistemul de ghidare automată se bazează pe principiul urmăririi unui curent (de joasă tensiune și frecvență determinată) generat de un oscilator. Curentul obținut în cele două bobine este prelucrat în cutia de ghidare care emite un semnal de comandă pentru servomotorul de direcție.

Sistemul de comandă al robocarului care deservește SFF are o structură ierarhizată pe trei niveluri (fig. 7.14): nivelul strategic, tactic și de

Fig. 7.14.

execuție. Nivelul strategic este realizat de un minicalculator iar celelalte două de un microprocesor.

Nivelul strategic trebuie să asigure în primul rînd planificarea calendaristică. În funcție de volumul producției lunare sau săptămînale se planifică sarcinile zilnice ale fiecărui robocar, calculîndu-se drumurile optime ale robocarului.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru funcționarea sigură a robocarului la acest nivel se analizează starea robocarului în funcție de informațiile primite de la microcalculator; în cazul defectării robocarului, acesta va fi exclus din procesul tehnologic. Dacă nu este posibilă luarea unei decizii de comandă în regim automat se realizează apelarea operatorului.

La nivelul tactic, problema principală constă în asigurarea comenzilor sistemelor robocarului. Structura algoritmului de comandă a robocarului este prezentată în fig. 7.15. Realizarea deplasării robocarului conform „Comenzii după program" începe cu transmiterea numărului de ordine al traseului și al lungimii lui. Blocurile din figură semnifică: *1* — stare inițială; *2* — «Comanda după program»?; *3* — introducerea în memorie operativă (MO) a minicalculatorului a datelor referitoare la traseul de deplasare; *4* — «Program de învățare»?; *5* — introducerea programului în MO a minicalculatorului de la panoul de comandă al robocarului; *6* — «Comanda manuală»?; *7* — comanda deplasării de la panoul de comandă al robocarului; *8* — stabilirea succesiunii de apelare a traductoarelor; *9* — prelucrarea informației primite de la traductoare; *10* — stabilirea numărului de puncte ale traseului prin calcul; *11* — analiza punctelor curente ale traseului; *12* — deplasare în linie dreaptă?; *13, 16, 19* și *21* — apelarea traductoarelor tactile; *14, 17, 20* și *22* — realizarea deplasării drept înainte, la stînga, la dreapta și, respectiv înapoi, *15* și *18* — rotire spre stînga și respectiv, spre dreapta;

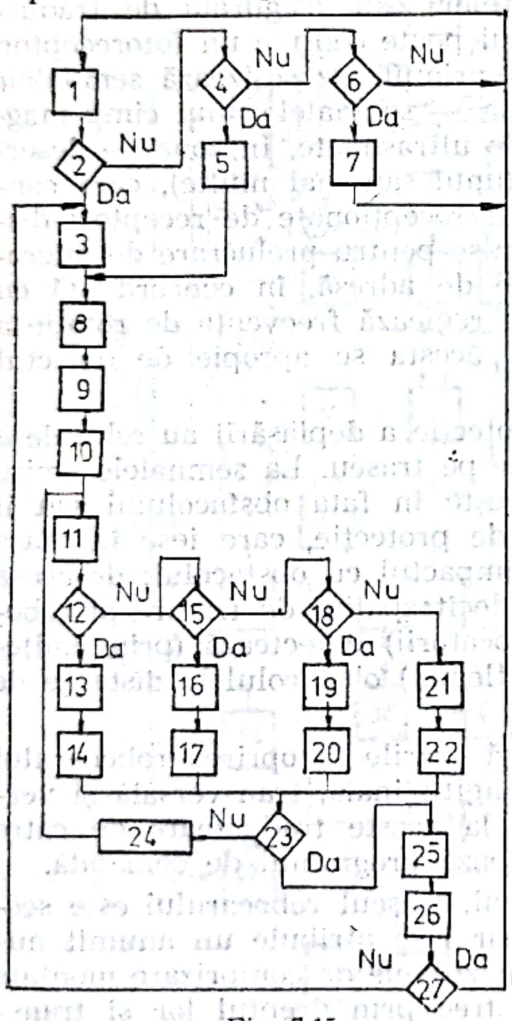


Fig. 7.15.

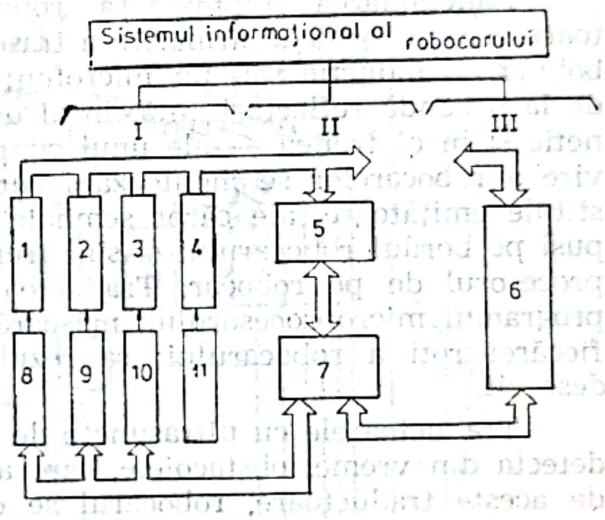


Fig. 7.16.

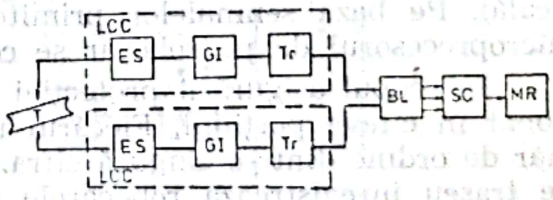


Fig. 7.17.

23 — sfîrșitul traseului?; *24* — mărirea traseului contorizat cu o unitate; *25* — poziționarea precisă; *26* — programul de descărcare a sarcinii de pe platformă; *27* — sfîrșitul programului?.

Sistemul informațional al robocarului conține trei canale: senzorial exterior, interfață și interior (fig. 7.16); *1*, *3* și *4* sînt senzorii de deplasare, cuplare și blocare; *2* — receptorul de semnale; *5* — microprocesor; *6* — sistem de control și autodiagnoză; *7* — minicalculator; *8* — traseul, firul; *9* — marcatorii; *10* — faruri; *11* — obstacole).

Deplasarea robocarului pe traseu se realizează prin intermediul unui sistem combinat de urmărire, ce include un canal inductiv și două canale optice.

Schema canalului inductiv de urmărire a traseului *T* este dată în fig. 7.17 (*T* — element de traseu; *ES* — element sensibil; *GI* — generator de impulsuri; *Tr* — trigher; *BL* — bloc logic; *SC* — sistem de comandă; *MR* — motor de rotire a robocarului). Canalul inductiv este realizat pe baza limitatoarelor de cursă fără contacte *(LCC)*.

Funcționarea automată a robocarelor este asigurată de traductoare. Traductorul de urmărire a traseului poate conține un fotoreceptor, bobină de inducție sau un microfon; în primul caz sesizează semnalele de la o bandă reflectorizantă, în al doilea — semnalele unui cîmp magnetic și în al treilea — ale unui cîmp de ultrasunete. În zona de deservire a robocarelor se montează faruri (unul sau mai multe), care constituie emițătoare, ale căror semnale sînt recepționate de receptori dispuși pe bordul robocarului și sînt transmise pentru prelucrare de microprocesorul de pe robocar. Traductoarele de adresă, în concordanță cu programul microprocesorului, măsoară și reglează frecvența de rotație a fiecărei roți a robocarului; ca rezultat acesta se apropie de obiectul deservit.

Traductoarele cu ultrasunete de protecție a deplasării au rolul de a detecta din vreme, obstacolele, care apar pe traseu. La semnalele emise de aceste traductoare, robocarul se oprește în fața obstacolului sau îl ocolește. Traductoarele mecanice (bara de protecție, care iese în afara cursei platformei) amortizează șocul la impactul cu obstacolul; de aceea cursa barei de protecție este mai mare decît spațiul de frînare al robocarului. Traductoarele cu ultrasunete (locatorii) detectează (prin emiterea și recepționarea impulsului sonor reflectat) obstacolul la distanțe de 0,5 . . . 1,5 m de robocar.

Traductoarele de corecție depistează erorile la oprirea robocarului în fața obiectului deservit (în direcție longitudinală, transversală și verticală). Pe baza semnalelor primite de la aceste traductoare de către microprocesorul de pe robocar se corectează programul de comandă.

În scopul asigurării protecției muncii, traseul robocarului este secționat în cîteva porțiuni. Fiecărui robocar i se atribuie un anumit număr de ordine dintr-o singură cifră. Dispozitivele de contorizare montate pe traseu înregistrează robocarele care trec prin dreptul lor și transmit calculatorului central informațiile despre trecerea robocarului pe fiecare dintre porțiunile traseului. Calculatorul controlează poziția fiecărui robocar pe traseu în orice moment de timp, alege drumul optim de deplasare și el însuși preîntîmpină posibilitatea de tamponare a robocarelor (de exemplu în intersecții). Dacă la terminarea deplasării robocarul nu primește o nouă sarcină, acesta în mod automat se îndreaptă spre punctul de încărcare sau de schimbare a bateriilor.

Scanned with OKEN Scanner

În fig. 7.18 este prezentată schema structurală a sistemului de comandă automată a unui robocar cu sistem de conducere optică pe traseu. Schema permite emiterea de semnale de comandă la variația sarcinii, vitezei din punct de vedere al valorii și semnului perturbațiilor din sistem pentru fiecare dintre laturile (părțile laterale) robocarului și compensarea abaterilor de la parametrii programați de parcurgere a traseului pe care este deplasată sarcina. În schema structurală cifrele au următoarea semnificație: *1* — marcajul traseului cu reperele de delimitare a spațiului secției în care se deplasează robocarul și, respectiv, a limitelor spațiului măsurat; *2* și *3* — roțile directoare din față; *4* și *5* — roțile directoare din spate; *6* și *7* — roțile conducătoare; *8* — traductor cu fotodiodă; *9* — decodificator pentru semnalele corespunzătoare direc-

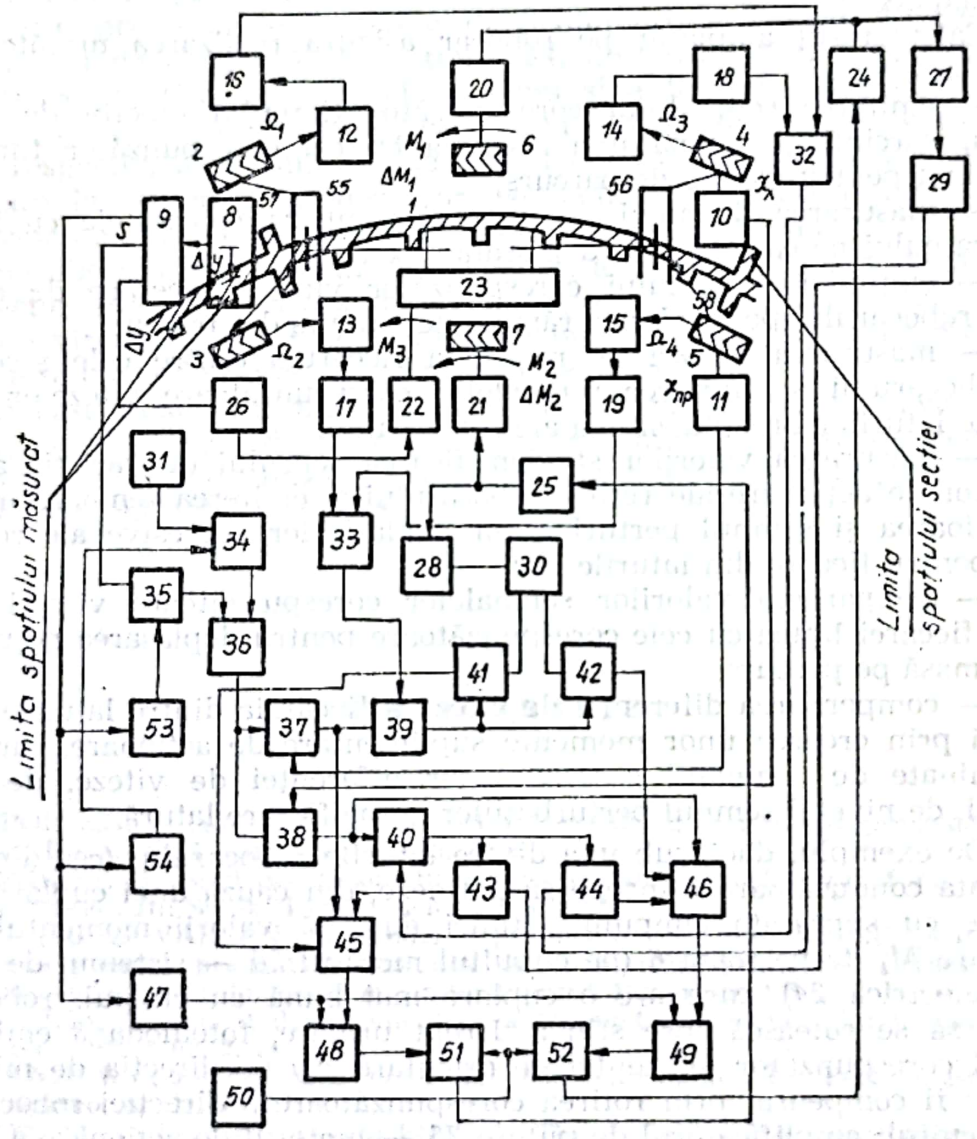


Fig. 7.18.

ției de mers și a limitelor spațiului măsurat; *10* și *11* — traductoare potențiometrice pentru sinusul unghiurilor de orientare a roților directoare; *12*, *13*, *14* și *15* — traductoare pentru unghiurile de rotație a roților directoare; *16*, *17*, *18* și *19* — blocuri de diferențiere pentru traductoarele *12*—*15*; *20* și *21* motoare; *22* — motorul pentru comanda direcției; *23* —

Scanned with OKEN Scanner

reductor; *24* și *25* sisteme de acționare electrică; *26* — amplificator de putere; *27* și *28* traductoare de curent; *29* și *30* blocuri de diferențiere; *31* — aparat de înregistrare a timpului; *32* și *33* — blocuri de însumare a vitezei; *34* și *35* — blocuri de scădere a timpului și, respectiv, spațiului; *36* — bloc de divizare; *37* și *38* — blocuri de multiplicare a vitezei; *39* și *40* — blocuri de scădere a vitezelor; *41, 42, 43* și *44* — chei analogice; *45* și *46* — blocuri sumatoare de comandă; *47* — dispozitiv de schimbare a valorii de referință pentru masa sarcinii; *48* și *49* — blocuri de multiplicare a sarcinii; *50* — generator de tensiune (în formă de dinți de ferăstrău); *51* și *52* — comparatoare; *53* și *54* — dispozitive de schimbare a valorii de referință pentru spațiu și, respectiv, timp pînă la punctul de destinație; *55* și *56* — angrenaje; *57* și *58* — mecanisme trapezoidale.

Calculatorul amplasat pe robocar asigură realizarea următoarelor operații:

— emiterea semnalului corespunzător timpului efectiv de transport al sarcinii și compararea acestuia cu cel corespunzător timpului programat pentru traseul de parcurs;

— măsurarea distanței parcurse și compararea acesteia cu lungimea traseului pe care trebuie deplasată sarcina;

— emiterea semnalului corespunzător vitezei necesare de deplasare a robocarului pe porțiunea rămasă de parcurs din traseu;

— măsurarea vitezei de rotație a fiecăruia dintre cele șase roți ale robocarului și emiterea semnalelor corespunzătoare vitezelor efective ale laturilor dreapta, stînga ale robocarului;

— măsurarea valorilor și identificarea sensului de variație a momentelor de acționare ale roților robocarului și emiterea semnalelor pentru valoarea și semnul perturbațiilor deplasărilor succesive ale robocarului pentru fiecare din laturile lui;

— compararea valorilor semnalelor corespunzătoare vitezei efective a fiecărei laturi cu cele corespunzătoare pentru deplasarea pe porțiunea rămasă pe parcurs;

— compensarea diferenței de viteză a fiecăreia dintre laturile robocarului prin crearea unor momente suplimentare de acționare, care sînt determinate de semnalul corespunzător diferenței de viteze, de masa sarcinii, de nivelul semnul perturbațiilor de pe fiecare latură.

De exemplu, dacă sub una dintre laturile robocarului (cea din stînga) roata conducătoare *7* începe să patineze, din cauza unei cuplări insuficiente cu suprafața cîmpului, atunci datorită valorii momentului de acționare M_1 de pe roata *6* (pe circuitul motorul *20* — sistemul de acționare electrică *24*), care are o cuplare mai bună cu cîmpul, robocarul începe să se rotească spre stînga. Drept urmare, fotodioda *8* emite un semnal corespunzător diferenței de orientare Δy pe direcția de mișcare, care va fi compensat prin rotirea corespunzătoare a direcției robocarului (pe circuitul: amplificatorul de putere *25* — motorul de acționare a direcției *22* — reductorul *23* — angrenajele *55* și *56*).

În urma egalizării unghiurilor de rotire a roților directoare de pe laturile dreapta și stînga ale robocarului prin mecanismele trapezoidale *57* și *58*, roata conducătoare interioară (avînd în vedere sensul de rotire) *6* își micșorează proporțional viteza de rotație (pe circuitul blocului electronic diferențial ce include traductorul pentru sinusul unghiului de orientare a roții directoare *10* și blocul de multiplicare a vitezei *38*).

Scanned with OKEN Scanner

Ca urmare, se produce micşorarea vitezei de regim a robocarului pe traseul programat şi reacţia de răspuns a regulatorului, creîndu-se un moment suplimentar ΔM_2 pe roata conducătoare *6* (pe circuitul: sumatorul *46* — cheile analogice *42* şi *44* — blocurile de diferenţiere *29* şi *30* — traductoarele de curent *27* şi *28* — motoarele *20* şi *21*). Datorită momentului suplimentar ΔM_2, viteza robocarului se reglează prin blocurile 39 şi *40* pînă la valoarea determinată de porţiunea neparcursă din traseu şi de variaţia timpului de parcurgere a lui pînă în momentul restabilirii legăturii între roţile conducătoare *6* şi 7. Din acest moment, regulatorul robocarului corelează momentele de acţionare M_1 şi M_2 dependente de masa sarcinii (dispozitivul de schimbare a valorii de referinţă a sarcinii 47, blocurile de multiplicare a sarcinii *48* şi *49*) şi de viteza v_r determinată de lungimea traseului ce mai trebuie parcurs şi de timpul de parcurgere prescris (dispozitivele de schimbare a valorii de referinţă a diferenţei de drum *53* şi de timp, *54*, decodificatorul *9* pentru semnalele corespunzătoare direcţiei de mers şi a limitelor spaţiului măsurat, înregistratorul de timp *31*, cele două blocuri de scădere a timpului *34* şi, respectiv, a spaţiului *35* şi blocul de divizare *36*) pe circuitul de modulare în lăţime a impulsurilor, ce include generatorul de tensiune sub formă de dinţi de ferăstrău *50* şi comparatoarele *51* şi *52*.

Se observă că sistemul de comandă a robocarului are două bucle de reacţie. Bucla inferioară, buclă mai puţin sensibilă, conţine regulatorul de viteză al roţilor conducătoare; bucla superioară, mult mai sensibilă, este bucla de comandă a roţilor directoare.

Această schemă structurală permite realizarea unor manevre foarte exacte, cu o precizie de poziţionare de ± 1 mm la viteze de deplasare de maximum 2 m/s. Raza de rotire maximă a robocarului, care are o suprafaţă de $900 \times 1\,500$ mm, este de 0,7 m.

BIBLIOGRAFIE

1. IAMPOLSKII, L. ş.a. Vîbor transportnîh sredstv dlia ghibkih proizvodstvenîh sistem. În: Stanki i instrument, nr. 3, 1986.
2. RODNIKOV, A. Sredstva avtomatizaţii transportno-skladskih rabot na vîstavke „Iaponiia-86". În: Stanki i instrument, nr. 3, 1987.
3. ENCIU, G. şi VARLAN, M. Model experimental de linie flexibilă pentru prelucrarea pieselor prismatice. Sesiunea de comunicări ştiinţifice „Progesele cercetării româneşti în domeniul maşinilor-unelte". Bucureşti, 1986.
4. TSUMUNA, T. Recent development of automated guided vehicles in Japan. În: Robotersysteme, nr. 2, 1986.
5. HALANG, W. ş.a. Transportroboter der Massenfertigung. În: Fertigungstechnick und Betrieb, nr. 11, 1985.
6. BRIOT, M. şi DE SAINT-VINCENT, A. Three dimensional perceptory systems Controls (RoViSeC6), Paris, Tagungsband, 1986.
7. REINHORDT, J. Handhabungsgeräte in der Transport, Umschlag und Lagertechnik. În: VDI-Z, nr. 3, 1987.
8. TIMOFEEVA, B. Osnovî sozdaniia ghibkih avtomatizirovanîh proizvodstva. Tehnika, Kiev, 1986.

Scanned with OKEN Scanner

8

Procedee noi de manipulare și stocare în depozite cu translatoare

Ing. *Sorin Constantin Tabacu*
Secția de Studii și Cercetări pentru Ambalare și Manipulare a M.A.G.F.

Utilizarea translatoarelor permite noi modalități de îmbunătățire a manipulării și stocării mărfurilor în depozite, conducînd la creșterea capacității și volumului de depozitare.

Dintre metodele cele mai eficiente de optimizare face parte, modelarea factorilor de influență a duratei ciclului mișcărilor, metodă ce poate fi aplicată fără nici o cheltuială suplimentară, și gestiunea automată de depozitare. Aplicarea împreună a acestor două metode conduce, totodată, la exploatarea la parametri înalți și a celorlalte utilaje de manipulare ce au legătură directă cu translatoarele, la creșterea eficienței economice a activităților depozitului.

1. Modelarea factorilor de influență a duratei ciclului mișcării translatoarelor

În procesul dirijării mișcărilor în și din stelaje, marea majoritate a ciclurilor folosite pînă în prezent sînt cicluri simple, cu o semicursă goală și una încărcată. Numai întîmplător și fără o programare prealabilă se utilizează cicluri de lucru combinate, care sînt cicluri foarte eficiente, deoarece semicursele se desfășoară în sistem încărcat-încărcat.

Sistemul de modelare pentru realizarea ciclurilor combinate utilizează două procedee.

Cazul general al procedeului. Pentru efectuarea circulației translatoarelor în sistem încărcat-încărcat alegerea traseelor optime trebuie efectuate ținînd seama de toate condițiile particulare ce se impun și în mod deosebit de volumul de mărfuri primite și necesare de asigurat la expediere. Soluțiile trebuie stabilite de operator (sau și mai eficient de calculator) pe unități de timp (ore, schimburi), în funcție de situația nou apărută.

Metoda de lucru are la bază gruparea paletelor în paralel, astfel încît o paletă să conțină mărfuri sosite pentru a fi introduse în stelaj, iar o altă paletă cu produse de expediat, care trebuie scoasă de translator din stelaj. În fond se ajunge la paralelismul mișcărilor între stocurile temporare de mărfuri aduse la recepție și cele necesare a fi scoase din zona de lucru a translatoarelor, la expediție. Trebuie deci ca cele două stocuri să fie dacă se poate egale, astfel încît să fie îndeplinită condiția

$$i \geqslant i_1 + i_2 + \ldots + i_k \qquad (1)$$

Scanned with OKEN Scanner

unde: i este numărul de palete necesare a fi introduse pe un culoar de lucru al translatoarelor; $i_1, i_2, \ldots, i_k$ — numărul de palete necesare a fi scoase într-un interval de timp din cele k niveluri ale stelajelor ce delimitează culoarul respectiv.

Este deci necesar ca procesul de introducere-scoatere să înceapă numai cînd este îndeplinită relația (1). Această relație este foarte importantă, în contextul economiei noastre actuale, deoarece exprimă continuitatea diverselor fluxuri în întreprinderi, desfășurarea fără întreruperi a producției și eliminarea stocurilor supranormative.

O altă problemă importantă pentru creșterea eficienței sistemului cu translatoare este gruparea activităților pe aceeași coloană sau pe coloane apropiate, în primul rînd, și pe același nivel sau pe niveluri apropiate de stelaj, în al doilea rînd. În special cu cît prima condiție este îndeplinită, cu atît cursele devin minime ca lungimi și timpi de lucru. Pentru îndeplinirea acestei condiții se va urmări ca paletele situate în paralel în zona primire-expediere să se grupeze astfel încît să fie satisfăcută relația

$$i(k) \approx [\sum i_k(r)]/n_s \qquad (2)$$

unde: $i(k)$ este numărul de palete necesar a fi introduse în apropiere de coloana r într-un schimb de lucru; $i_k(r)$ — numărul de palete necesare a fi scoase dintr-o poziție cît mai apropiată de coloana r într-un schimb de lucru ($k=1, 2, \ldots, k$); n_s — numărul de perioade de acumulare pe schimb (de obicei o perioadă va fi 1—3 ore).

Pentru îndeplinirea condițiilor menționate, la fiecare capăt de stelaj, suprafața (zona) efectivă de pregătire a comenzilor și de gestiune trebuie împărțită în două semizone (una de primire și alta de expediere), cu culoarele afectate circulației electrostivuitoarelor necesare (calculate după metoda clasică a razei de întoarcere) și locul de amplasament al altor eventuale instalații din sistem (conveioare, benzi transportoare etc.). În acest fel în întreg depozitul vor exista trei zone, dintre care cea centrală este de amplasament a translatoarelor cu grupurile de stelaje (zona efectivă de depozitare). Prin aplicarea acestui procedeu, problema gestiunilor distincte, folosite în prezent, devine relativă.

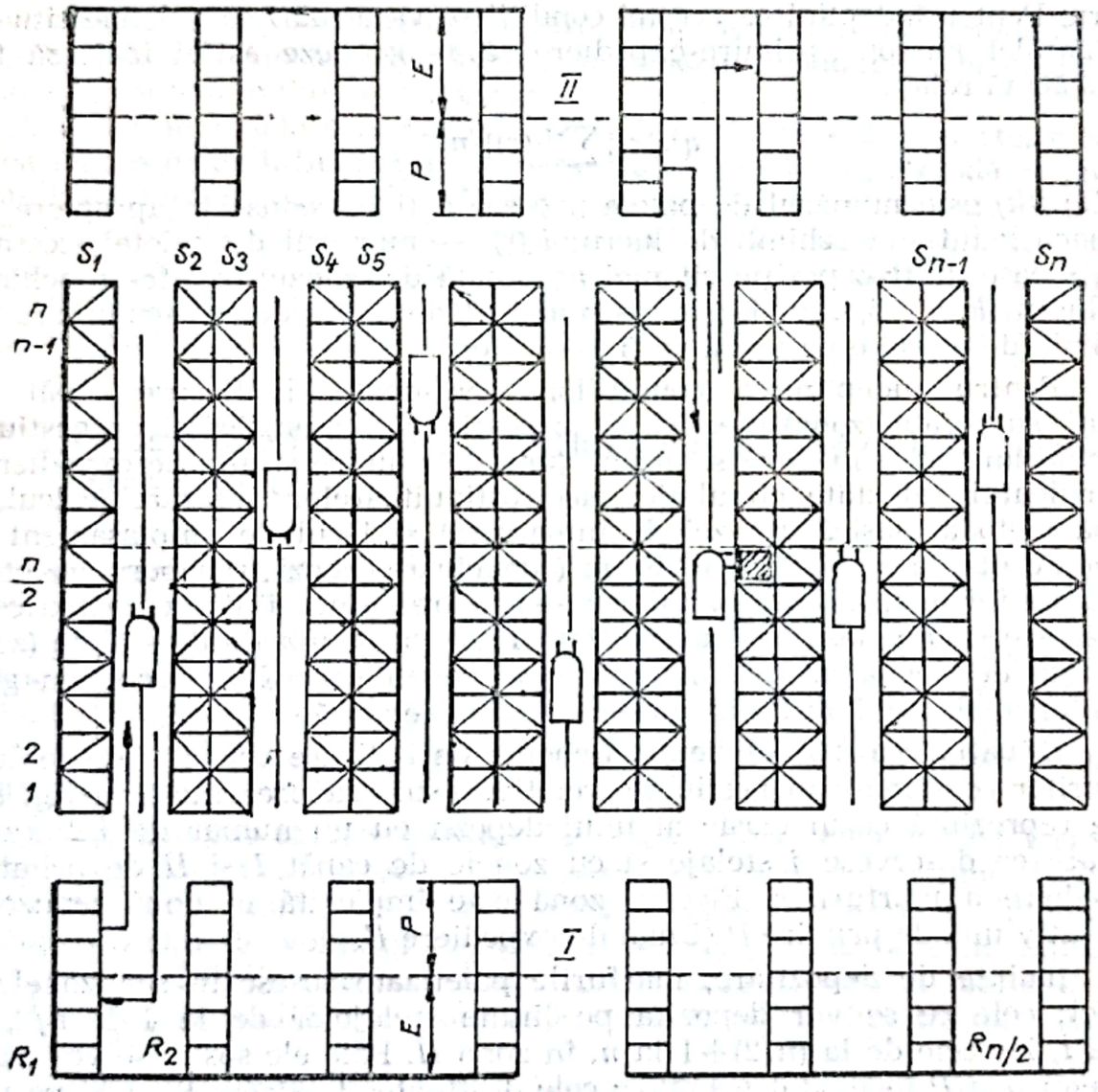
Situația cea mai eficientă. Schema de aplicare cea mai eficientă a ciclurilor combinate în gestiunile relative este cea prezentată în fig. 8.1, care reprezintă cazul clasic al unui depozit cu un număr de $j/2$ translatoare ce deservesc j stelaje și cu zonele de capăt I și II de primire-expediere a mărfurilor. Fiecare zonă este împărțită în două semizone, respectiv una de primire P și una de expediere E.

Înainte de depozitare, mărfurile paletizate sosesc în semizonele P astfel: cele ce se vor depozita pe liniile stelajelor de la 1 la $n/2$, în zona I, iar cele de la $(n/2)+1$ la n, în zona II. Paletele sosite se vor așeza în semizona P în modul următor: cele destinate stelajelor S_1 și S_2 pe rîndul R_1; paletele destinate stelajelor S_3 și S_4 pe R_2 și așa mai departe, cele destinate stelajelor S_{n-1} și S_n pe rîndul $R_{n/2}$. Aceste produse vor sta în stocul zonei (pe un singur rînd, eventual de palete suprapuse) pînă la cerințe de scoatere a altor diverse produse paletizate din stelajele lor corespunzătoare. Astfel dacă este necesară scoaterea unei palete din stelajul S_1, întîi se va prelua o paletă destinată stelajului S_1 sau S_2 și se va efectua transportul acesteia cu translatorul la celula respectivă, după care

Scanned with OKEN Scanner

se va scoate paleta amintită (care se va depozita în semizona *E* în vederea expedierii).

Pînă aici modul de lucru este deci asemănător cu cel al cazului general. În continuare, pentru ca sistemul să fie cel mai eficace, se va urmări ca lucrul cu translatoarele să se desfășoare (încărcat-încărcat) cu intrări și ieșiri ale utilajului numai pînă la jumătatea planului de depozitare al stelajelor translatoarelor. Acest sistem poate fi schimbat o dată cu epuizarea paletelor ce trebuie scoase pe partea de ieșire a respectivei jumătăți. Din acel moment se poate proceda la introducerea unei ultime palete din prima zonă și scoaterea unei palete în semizona *E* a zonei *II*, lucrul continuînd în mod similar, dar cu introduceri și scoateri din această zonă pînă la jumătatea alăturată a planului de depozitare al translatoarelor.



Gestionarii zonelor *I* și *II* trebuie să țină o evidență strictă a intrărilor și ieșirilor din partea de depozit aferentă fiecăruia, respectiv să se încarce sau se descarce cu paletele ce le aparțin sau nu.

Acest sistem este mai greu de realizat fără ajutorul calculatorului, din această cauză în exemplul aplicativ următor nu s-a împărțit supra-

Scanned with OKEN Scanner

fața stelajelor în jumătăți, ci s-a lucrat pe întregul drum, eficiența fiind și așa, cum se va vedea, substanțială.

Exemplu de calcul. Într-un interval de timp de o oră trebuie introduse 6 palete cu produse pe culoarul 4 al unui depozit cu translatoare al unei întreprinderi, la următoarele celule: paleta a_1 la celula C 42, nivelul N 5; paleta a_2 la C 70, N 4; a_3 la C 80, N 3; a_4 la C 30, N 7; a_5 la C 20, N 6; a_6 la C 60, N 8. După un timp de 45 min trebuie scoase alte 6 palete cu produse diferite de la următoarele poziții ale aceluiași culoar 4: paleta b_1 de la celula C 50, nivelul N 8; b_2 de la C 42, N 2; b_3 de la C 66, N 4; b_4 de la C 28, N 7; b_5 de la C 26, N 3; b_6 de la C 18, N 6.

Se cunoaște că depozitul are pe lungime dispuse 80 celule de stelaj.

Timpul ciclului simplu se determină cu relația

unde: $$t_{ciclu\ simplu}=2t_m\sum(n_{oci}+n_{oci}+n_{cos}+n_{cvs}), \qquad (3)$$

t_m este timpul pe care-l efectuează translatorul 4 pentru a parcurge o lungime de o celulă (sau înălțime) (secunde/celulă); n_{oci} — numărul de celule ce trebuie parcurse pe orizontală de utilajul translator la introducerea unei palete; n_{cos} — idem cu n_{oci} la scoatere; n_{cvi} — numărul de celule ce trebuie parcurse de translator pe verticală (de la nivelul 0) la introducerea unei palete; n_{cvs}=idem cu n_{cvi}, la scoaterea unei palete;

În cadrul ciclului combinat, relația devine

unde: $$t_{ciclu\ combinat}=2t_m\sum(n_{co,\ max}+n_{cv.\ max}), \qquad (4)$$

$n_{co,\ max}$ este numărul de celule ce trebuie parcurse pe orizontală la o cursă a utilajului translator pentru introducere-scoatere (se adoptă cursa cea mai mare); $n_{cv,\ max}$ — idem pe verticală.

În cazul ciclului simplu, numărul de celule ce trebuie parcurse pe orizontală este cel din datele prezentate, în schimb, în cazul scoaterii numărul de celule va fi: 80 minus poziția celulei. Aceasta deoarece existînd o zonă primire distinctă de cea de expediere, intrările se fac pe o parte iar ieșirile pe cealaltă. Numărul celulelor pe verticală este cel din datele prezentate.

Deci, conform relației (3),

$$t_{ciclu\ simplu}=2\times1[(42+5+70+4+80+3+30+7+20+$$
$$+6+60+8)+(80-50)+8+(80-50)+8+(80-42)+$$
$$2+(80-66)+4+(80-28)+7+(80-26)+3+(80-18)+6]=1\ 230\ \text{s}.$$

Pentru ciclul combinat la început grupăm paletele, după principiile stabilite de metodă: a_1—b_2; a_2—b_3; a_6—b_1; a_3—b_5; a_4—b_4; a_5—b_6. Considerînd că introducerea paletelor a și scoaterea paletelor b se face prin partea de depozit de unde începe numerotarea celulelor,

$$t_{ciclu\ combinat}=2(42+5+70+4+60+8+30+7+30+7+20+6=578\ \text{s}.$$

Se observă deci că prin metoda modelării factorilor de influență în ciclu combinat se obține o economie de timp de 652 s, deci peste 50% față de situația actuală obișnuită de lucru cu translatoare la noi. Ca atare și cheltuielile cu energia electrică, personalul (deoarece în loc de două schimburi activitățile se pot grupa în unul) și alte cheltuieli etc. se reduc cu mai mult de jumătate.

Scanned with OKEN Scanner

2. Sistemul automat de identificare a adreselor de depozitare

Deşi foarte eficient, sistemul prezentat la §1 poate fi total optimizat folosind automatizarea gestiunii stocurilor (depozitărilor) şi a tehnicii manipulărilor. În acest fel, siguranţa sistemelor de lucru cu translatoarele devine perfectă, programarea se face exact, vitezele de deplasare devin maximale şi orice posibilitate de producere a erorilor este eliminată.

Sistemul automat de identificare a adreselor rezolvă următoarele probleme: sortarea eficientă a paletelor prin identificarea sectorului din depozit, din stelaj sau stivă, a modului de transport cu căruciorul translatoarelor în primul rînd dar şi cu a utilajelor ajutătoare acestora ca stivuitoare, conveioare etc.; scoaterea sau introducerea în stelaj de către furcile translatoarelor a unităţilor de încărcătură într-o anumită succesiune dată; exploatarea raţională şi obţinerea de economii de cheltuieli; eliminarea tuturor translatoriştilor ce sînt necesari în depozitul mecanizat (respectiv a unui număr de muncitori egal cu numărul de translatoare din depozit).

O posibilitate simplă de realizare a unui sistem modern de identificare — depozitare este aceea de a conduce fluxul manipulării în depozitul cu translatoare cu ajutorul calculatorului electronic prin separarea circuitului mărfurilor de cel al informaţiilor.

Conform acestui sistem, mărfurile paletizate la intrarea în depozit sînt înregistrate, notîndu-se felul, mărimea unităţilor de încărcătură paletizate, cantitatea şi codul lor. Informaţiile în legătură cu aceste date sînt transmise la controlul automat şi efectivul depozitului. Printr-un program de calculator aceste informaţii sînt prelucrate în sensul asigurării stocului minim corespunzător actualelor hotărîri pentru mărfurile în depozite, stocuri ce nu mai pot depăşi anumite cantităţi. Programul asigură totodată timpul cel mai redus pentru efectuarea comenzilor.

Calculatorul primeşte aşadar în mod permanent informaţii cu privire la intrarea mărfurilor paletizate, la mărimea cantităţilor existente în depozit şi la comenzile noi de mărfuri ce trebuie lansate.

După culegerea tuturor datelor necesare, paletele, separate pe tipuri de marfă, sînt transportate, pe sortotipuri, de către translatoare, spre locurile de depozitare hotărîte la controlul efectivului depozitului.

Asupra depozitării mărfurilor pot acţiona factori, cum sînt: compatibilitatea reciprocă a diferitelor feluri de mărfuri, sau consumul, adică frecvenţa de înlocuire a stocului.

Dacă prin intermediul calculatorului se stabileşte că o marfă va fi solicitată imediat, atunci aceasta trebuie repartizată şi manipulată de translator la o depozitare de tranziţie în stelaje, cu timp de acces redus. Celelalte mărfuri paletizate ajung în spaţii celulare de depozitare de durată, cu timpi de acces mai largi şi cu un volum mare de depozitare în stelajele translatoarelor.

Dacă la intrarea comenzilor se primeşte o cerere pentru o marfă, în primul rînd se verifică la controlul efectivului depozitului dacă marfa există în cantitatea cerută şi poate fi livrată. Dacă există, cererea ajunge

Scanned with OKEN Scanner

la facturare, unde se completează documentele de însoțire, pentru a ajunge cu unitatea de încărcătură paletizată la distribuție. În caz contrar, se emite răspuns negativ.

Toate caracteristicile trebuie reglate de o unitate de prelucrare a datelor, care la intervale regulate emite informații asupra situației gestiunii și asupra tendințelor de evoluție. Cînd mărfurile paletizate părăsesc depozitul cu translatoare, acestea sînt scoase de sub evidența controlului efectivului, întocmindu-se totodată comenzi noi de completare a stocului.

Calculatoarele moderne oferă soluții foarte eficiente rezolvării problemelor de identificare a adreselor, a mișcării mărfurilor cu ajutorul translatoarelor, a gestiunii automatizate și depozitării în depozite dotate cu stelaje înalte și translatoare. Unul din cele mai utile procedee este acela în care acțiunea se face sub un program SOFT, apelîndu-se la o bancă de date prin intermediul acestui program. Datele se introduc prin intermediul unui terminal cuplat cu calculatorul, cu ajutorul căruia se culeg datele și se transferă pe benzi sau în memorie.

Microprocesoarele utilizate în prezent au schimbat imaginea fluxurilor automate de manipulare în depozitele moderne cu translatoare. Fluxurile se împart în domenii autonome conduse de un calculator de proces. Un asemenea mod de organizare se deosebește substanțial de modelele clasice de automatizare. Comanda centralizată se înlocuiește prin sisteme inteligente descentralizate. În locul transmiterii în paralel a semnalelor caracteristice proceselor, la conectarea terminalelor trebuie utilizată transmiterea în serie.

Posibilitățile de aplicare a microprocesoarelor la instalații specifice manipulării în depozite cu translatoare sînt multiple. Procesul ce trebuie condus cu ajutorul microcalculatorului cuprinde mai multe componente, și anume: paletele, cunoașterea combinațiilor loturilor la depozitare și la ieșire; organizarea programată a depozitării; posibilitățile existente de comandă și comunicare din depozit.

Analiza traseelor de manipulare a mărfurilor este efectuată de specialistul în sisteme.

Fiecare sistem de lucru în astfel de depozite trebuie împărțit în domenii autonome din punct de vedere funcțional.

Utilizarea microprocesoarelor în comanda domeniilor de sistem unitare se bazează pe schimbul de date în serial între partenerii cuplați (adică atît între domeniile vecine, cît și între calculator și domenii). Cerințele sistemului sînt îndeplinite de microprocesoare compuse dintr-o unitate centrală pentru culegerea datelor, tratarea acestora și transmiterea lor spre ieșire.

O asemenea înzestrare tehnică a depozitelor cu translatoare poate modela exact toți factorii de influență a ciclului mișcării utilajelor, rezolvînd totodată problemele de stoc, depozitare și comerciale ale depozitului. În cazuri practice, tehnica de rezolvare prezentată numeric la §1 ar conduce la economii duble față de cele realizate prin metoda respectivă, datorită în special rezolvării optime și a celorlalte probleme ale depozitului.

Dezvoltarea tehnologiei manipulării și stocării paletizate folosind microprocesoare este astfel condusă încît să utilizeze tehnicile și componentele ce se află deja în funcționare în depozitele cu translatoare.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. WIRTH, S. Soluții microcomputerizate ale fluxului de mărfuri paletizate în procesul de manipulare. În: Hebezeuge und Fördermittel, nr. 12, 1986, p. 360.
2. * * * Rolul informației în depozitarea paletelor. În: Gospodarska materialowa, nr. 20, 1986, p. 491.
3. TAYLOR, R. Analiza manipulării și depozitării moderne. Simposion Internațional. Lyon, Franța, 1986.
4. TABACU, S. C. Soluții mixte în transportul materialelor și produselor. Ed. INID, București, 1985.
5. TABACU, S. C. Mecanizarea, automatizarea și robotizarea manipulării și depozitării în întreprinderi și baze de aprovizionare. Ed. OID-MAGF, București, 1986.

Scanned with OKEN Scanner

9

Tendințe în producerea și utilizarea sistemelor flexibile de fabricație*)

Grupa de lucru din domeniul construcțiilor de mașini și al automatizării, în cadrul Comisiei Europene ONU, a elaborat un articol despre 350 SFF (sisteme flexibile de fabricație), pentru prelucrare mecanică și prin deformare plastică, utilizate (pe la jumătatea anilor '80) în țările socialiste și capitaliste dezvoltate.

Companiile producătoare de SFF acordă o mare atenție lărgirii posibilităților sistemelor și, în primul rînd, perfecționării centrelor de prelucrare, care sînt cel mai larg utilizate în SFF moderne.

Principalele direcții în perfecționarea centrelor sînt: creșterea fiabilității, dotarea cu dispozitive automate pentru înlocuirea semifabricatelor și a sculelor așchietoare, precum și pentru controlul stării acestora în procesul prelucrării, creșterea puterii, a vitezei de așchiere și a rigidității construcției centrelor de prelucrare, studierea unor sisteme perfecționate cu comandă program, precum și utilizarea noilor metode de prelucrare (cu laser, plasmă, fascicul de electroni).

Se încearcă, de asemenea, perfecționarea asigurării cu programe, precum și realizarea sistemelor integrate cu comandă de la calculator.

Deciziile vizînd implementarea SFF se iau înainte cu 1—2 ani, timp în care se realizează culegerea informației în vederea estimării efectului economic potențial al aplicării SFF, printre altele, prin vizitarea întreprinderilor care au implementat deja astfel de echipament (cu scopul amortizării SFF în 2—3 ani, acestea trebuie utilizate în minimum două schimburi).

După aceea se constituie o grupă specială de proiectare pentru studierea și implementarea SFF, care cuprinde specialiști din diferite domenii, printre care ingineri în domeniul tehnicii sistemelor de calcul, ingineri „de exploatare", specialiști în întreținere.

Studierea și implementarea SFF trebuie realizate în strînsă interdependență atît cu furnizorii de SFF sau de componente ale acestora, precum și cu reprezentanții diferitelor sectoare ale companiei beneficiare, în special ale celor de producție.

Procesul pregătirii în vederea implementării SFF presupune analiza pieselor care urmează a fi fabricate prin intermediul SFF, din punct de vedere al nomenclaturii acestora și al posibilităților grupării după unele elemente comune (dimensiune și configurație, ciclu, traseul trans-

---

* Traducere, de Daniela Asvadurov (ICTCM), după „Problemî Maşinastroenia i Avtomatizaţiia" — CAER, nr. 16, 1987, pag. 79—81.

Scanned with OKEN Scanner

ferului pieselor în procesul prelucrării, succesiunea operațiilor tehnologice ș.a.m.d.).

Analiza curentă a construcției pieselor permite adesea creșterea eficienței, atît a prelucrării mecanice, cît și a montajului, menținînd calitatea piesei.

Companiile de vîrf din domeniul construcțiilor de mașini utllizează pe scară largă metodele modelării matematice, cu scopul optimizării parametrilor sistemului în procesul proiectării de SFF.

Anterior implementării SFF în valoare de 26 milioane mărci RFG, la întreprinderile companiei „Caterpillar", în Belgia, a fost pus la punct un model funcțional al sistemului, valorînd numai 40 mii mărci RFG.

În ultimul timp, în țările capitaliste, sînt utilizate cu prioritate SFF în a căror elaborare se iau în considerare cerințele specifice ale beneficiarilor, ceea ce atrage după sine și o scumpire a SFF-urilor.

În perspectivă, ca o condiție esențială pentru lărgirea utilizării SFF, se prevede standardizarea și unificarea ansamblurilor SFF mecanice, electronice etc., a interfețelor, precum și a modalităților asigurării, din punct de vedere matematic, a funcționării sistemului.

Acest lucru permite ieftinirea SFF precum și rezolvarea problemei compatibilității acestora cu alte echipamente.

Numărul firmelor producătoare de SFF este destul de restrîns. În SUA, de exemplu, unde producția centrelor de prelucrare (componentă de bază a SFF pentru prelucrare mecanică) este realizată de 77 companii americane și străine, printre furnizorii principali sînt numai:

„Cincinnati Milacron"; „Cross and Trecker"; „Giddings and Lewis"; „Bendix"; „Ex — Cell — O Corporation"; „Ingersoll Milling Machine" și „White Consolidated Industries".

În 1982, în SUA, s-au înregistrat 5 comenzi de SFF, în 1983 — 2, în 1984 — 18 și în 1985 — 7.

În Japonia, aproximativ, 150 firme produc mașini-unelte cu comandă program pentru așchierea metalelor, dintre care 60 sînt centre de prelucrare. Totuși, există numai 20 de producători SFF, dintre care numai 14 sînt în măsură să producă sisteme complexe.

În RFG, producția de SFF, este asigurată de companiile „Scharmann", „Burkhardt und Weber", „Heller Maschinenfabrik", „Friedrich Deckel", „Fritz Werner" și „Trumpf" (ultima specializată în SFF pentru prelucrare prin deformare).

În Marea Britanie, livrează SFF „la cheie" 5 firme. Trebuie precizat că SFF engleze, utilizează numai sisteme cu comandă program din import (totuși firmele engleze produc pachete de programe aplicate).

În Franța există cinci furnizori SFF „la cheie", reprezentativă fiind „Renault Automation".

În Italia, SFF „la cheie" livrează 6 firme (printre care și firmele „Berardi", „Mandelli", „Comau", „Olivetti"). Conform estimărilor făcute, la jumătatea anului 1984, 5 dintre acestea au realizat 37 SFF, dintre care 14 pentru export. În 1980, pe piața italiană, s-au înregistrat 2 comenzi de SFF; în 1983, 6, iar în 1984, 16; în august 1984, 18 din 23 SFF italiene au fost instalate în întreprinderile companiilor constructoare de automobile.

În Belgia, SFF sînt produse de către filialele a trei companii mari de construcții de mașini-unelte, care utilizează în general, componente din import.

Scanned with OKEN Scanner

În Olanda, producerea de SFF și de componente ale acestora este asigurată de 5 firme (dintre care 3 furnizează SFF „la cheie"), iar în Elveția, de 4. În Elveția, practic, nu există nici o companie furnizoare de SFF „la cheie". În acest scop se formează asociații de firme colaboratoare ce asigură elaborarea și implementarea de SFF.

Ca urmare a dezvoltării producției de SFF are loc o lărgire a comerțului extern cu acest tip de echipament.

Pe plan mondial, comerțul cu SFF se dezvoltă pe următoarele direcții de bază:

— livrare de SFF „la cheie";

— livrare de SFF prin filialele străine ale firmei producătoare, vînzări de componente separate SFF (centre de prelucrare ș.a.), către anumite filiale, cît și către furnizori autonomi de SFF și către beneficiari finali;

— comerț de licențe.

Așa cum rezultă din evaluările grupei de lucru în domeniul construcțiilor de mașini și al automatizării, în 1984—1985, parcul internațional de SFF complex număra, de exemplu, 350 unități, în jur de 50 se aflau în stadiul de livrare sau montaj.

Cel mai mare număr de SFF există în Japonia 100, în SUA 47, RFG 25—35, Italia 25, Olanda 25, Franța 17, Elveția 11.

În țările din Europa Occidentală, SFF sînt cel mai larg utilizate în construcția de automobile (spre sfîrșitul lui 1984), reprezentînd 40% din întreg parcul.

Prezentăm datele culese de ONU pentru construcția de mașini și automatizare, privind structura pe domenii a parcului SFF din Europa Occidentală, în procente:

	Din punct de vedere al cantității, %	Din punct de vedere al costului, %
Producția de autovehicule ușoare	20	26
Producția de autovehicule grele	14	14
Producția de ansambluri și piese pentru automobile	9	9
Aerospațiale	9	10
Construcția de mașini-unelte	9	9
Alte ramuri	39	32

Evaluarea eficienței economice a SFF este posibilă numai după anumiți parametri ce au influențat asupra eficienței economice a utilizării SFF.

În acest scop, în Japonia, la începutul anilor '80 s-a realizat o investigație în rîndul unor companii din domeniul construcțiilor de mașini ce utilizau SFF.

Astfel, s-a stabilit* că, numai pentru 34% din firme (256), perioada de amortizare a SFF a fost de mai puțin de 3 ani; pentru 66% din firme (168), cheltuielile efective de producție și instalare a SFF s-au dovedit a fi mai mari decît cele planificate.

În același timp, a avut loc o reducere cu peste 40% a numărului de mașini-unelte utilizate, pentru 54% (189) și a personalului pentru 69% (198) din companiile investigate.

* În paranteză se indică numărul firmelor investigate.

Scanned with OKEN Scanner

Grupul de lucru al Comisiei economice europene în domeniul construcțiilor de mașini și al automatizării, a analizat efectul economic al utilizării SFF.

Astfel, din 64 de SFF selecționate pentru analiză, implementarea a 21 sisteme a permis reducerea personalului cu 50 . . . 75%, al altor 10 SFF, reducerea personalului cu peste 75%, iar pentru 25 de SFF instalate, cu peste 3,5 ori; instalarea a 10 SFF a asigurat reducerea la jumătate a parcului de mașini-unelte, iar a 20 SFF, reducerea acestuia de 3,4 ori. Ca urmare a instalării de SFF, cheltuielile de timp pentru realizarea producției s-au redus, în medie, cu 25%; astfel, pentru 8 SFF, acest indicator a reprezentat 50 . . . 75%, iar pentru 18, mai mult de 75%.

Compania „General Electric" a introdus recent în exploatare un SFF al firmei „Giddings and Lewis" în valoare de 16 milioane dolari, pentru prelucrarea pieselor tip carcasă, pentru motoarele de locomotivă.

Ca rezultat al implementării SFF, capacitățile de producție ale întreprinderilor au sporit cu 28%, productivitatea muncii a crescut cu 240%, cantitatea utilajului s-a redus de la 24 de unități la 9, suprafața platformelor de producție, cu 25%, durata ciclului de producție, de la 16 zile la 16 ore.

Prelucrarea și instalarea de SFF presupune însemnate investiții. Din costul SFF, ponderea utilajului industrial reprezintă 50%, a sistemelor de transport și înmagazinare 30%, iar a sistemelor de comandă, 20%.

După cum reiese din analiza efectuată, media cheltuielilor pentru elaborarea, executarea și implementarea unui SFF este de 7,1 milioane dolari, și anume: în Japonia 10,6, în America de Nord 10,5, iar în Europa Occidentală 4,7.

Gradul de flexibilitate tehnologică a SFF instalate în întreprinderile japoneze, americane și vest-europene este diferit.

Structura parcului de SFF în 1984—1985
(în procente)

	Total	Japonia	S.U.A.	Europa Occidentală
După costul SFF*	100	100	100	100
sub 3	44	55	18	
3 . . . 7	20	18	11	
peste 7	36	27	71	
După nr. de utilaje cuprinse în SFF**	100	100	100	100
2 și sub 2	16	17	12	18
3 . . . 5	37	37	31	40
6 . . . 10	31	28	41	28
11 și peste 11	16	18	16	14
După nr. tipodimensiunilor pieselor prelucrate***	100	100	100	100
1 . . . 10	33	27	41	34
11 . . . 50	34	21	22	49
51 . . . 100	13	20	13	8
peste 100	20	29	24	9

* Pe baza analizei datelor în milioane dolari pentru 98 SFF.
** Pe baza analizei datelor pentru 309 SFF.
*** Pe baza analizei datelor pentru 157 SFF.

Scanned with OKEN Scanner

În cadrul centrelor de prelucrare, un loc important în parcul SFF îl ocupă sistemele pentru prelucrarea mecanică a pieselor tip carcasă. Sînt prezentate rezultatele analizei efectuate, referitor la structura tehnologică a parcului de SFF (pe baza datelor culese pentru 309 SFF) din Japonia, S.U.A. și Europa Occidentală, în perioada 1984—1985.

	Total	Japonia	S.U.A.	Europa Occidentală
Numărul de SFF	309	92	61	156
Procentul centrelor de prelucrare din numărul total al utilajelor pentru prelucrarea metalelor din SFF, %	75	79	84	70
Fracțiunea din nr. total al SFF care includ centre de prelucrare, (%)	50	51	65	43
Număr mediu de unități utilaj*	6,9	7,5	6,9	6,6
Număr mediu al centrelor de prelucrare	4,6	4,8	5,4	4,1

* În calcul pentru un SFF.

În sinteza grupei de lucru din construcțiile de mașini și automatizare se menționează un ritm destul de scăzut de creștere pentru parcul SFF din domeniul prelucrării metalului prin deformare plastică. Această stare de lucruri se datorează, în primul rînd, timpului redus de prelucrare a piesei, în comparație cu timpul prelungit necesar schimbului de matrițe, ceea ce face neeconomică automatizarea producției de serie mică; în al doilea rînd, dimensiunile destul de mari și forma specifică a pieselor îngreunează aplicarea mijloacelor de automatizare a încărcării-descărcării utilajului, automatizarea transportului și depozitării produselor finite.

În anii 1984—1985, din 25—35 SFF instalate în întreprinderile R.F.G., doar 2 erau destinate prelucrării metalului prin deformare plastică.

În Japonia, în anii respectivi, se aflau în exploatare 32 SFF pentru prelucrare prin deformare plastică, dintre care 29 erau destinate prelucrării tablelor, iar 3 pentru forjare.

În SFF pentru prelucrare prin deformare plastică, sarcina de producție principală se referă la piesele de perforat (la fel ca în centrele SFF pentru prelucrare mecanică), iar ca mijloc de transfer, cel mai larg utilizate sînt conveierele.

Din 32 SFF japoneze, 24 au fost înzestrate cu astfel de prese, și 16 cu conveiere.

SFF pentru prelucrarea metalelor prin deformare plastică prezintă un grad mai mare de flexibilitate tehnologică comparativ cu SFF pentru prelucrare mecanică.

Astfel, pentru 10 din 32 SFF japoneze pentru prelucrarea metalului prin deformare plastică, mărimea lotului de piese prelucrate este de 1 . . . 10, pentru 8 din ele, de 11 . . . 100, pentru 6, 101 . . . 1 000 și pentru 4, 1 000 . . . 3 000; patru SFF permit prelucrarea a 1 . . . 10 piese diferite, șapte, a 11 . . . 100, 5, a 101 . . . 500, 7, a 200 . . . 5 000, iar 6, a 5 000 și mai multe (B I K I, 04.11.1986).

Scanned with OKEN Scanner

10

Procesul ireversibil nestaționar de golire (evacuare liberă) politropică a unui spațiu de volum constant

Prof. dr. ing. *Vsevolod Radcenco*,
Ing. *Luminița Radcenco*
Institutul Politehnic București

1. Introducere

Procesul de golire sau evacuare liberă a unui spațiu de volum constant reprezintă, ca și umplerea, un proces tipic ireversibil nestaționar datorită diferențelor finite variabile, scăzătoare, de presiune care caracterizează desfășurarea în timp a acestui proces. Evacuarea liberă este prezentă în structura diagramei de funcționare a motorului cu ardere internă, motorului pneumatic precum și în cea a detentorului criogenic cu piston. De asemenea, evacuarea liberă constituie procesul caracteristic prin care se obține lichefierea hidrogenului, respectiv, a heliului în cadrul metodei propuse de Simon. Funcționarea sistemelor pneumoautomate este indisolubil legată de prezența procesului de golire a camerelor pneumatice, durata desfășurării în timp a procesului avînd o importanță deosebită, ca și cea a umplerii, din punctul de vedere al vitezei de răspuns al sistemului automatizat pe bază pneumatică.

Pînă în prezent procesul de golire a fost analizat numai în condiții adiabate de desfășurare, ajungîndu-se la stabilirea timpului de golire [3, 7, 9] a unei camere pneumatice sau cilindru de volum constant. Este evident că transferul căldurii între mediul exterior și cameră prezintă importanță influențînd viteza de desfășurare a acestui proces, problemă care prezintă un interes teoretic și practic deosebit atît pentru mașinile cu piston enumerate cît și pentru sistemele pneumoautomate.

2. Modelarea procesului de golire a unui spațiu de volum constant

Schematizarea procesului de golire și diagramele de variație a presiunii, vitezei și debitului de gaz scurs prin orificiul care face legătura între cameră sau cilindru și conducta de evacuare în funcție de timp sînt arătate în fig. 10.1. Se consideră că acest orificiu de secțiune A se comportă ca un ajutaj convergent care, în domeniul pneumoautomaticii, poartă denumirea de rezistență turbulentă. În mod obișnuit, presiunea inițială din cameră, p_c este superioară lui p_e/β_{cr}, unde p_e reprezintă contrapresiunea din conducta de evacuare iar β_{cr} — raportul critic de pre-

Scanned with OKEN Scanner

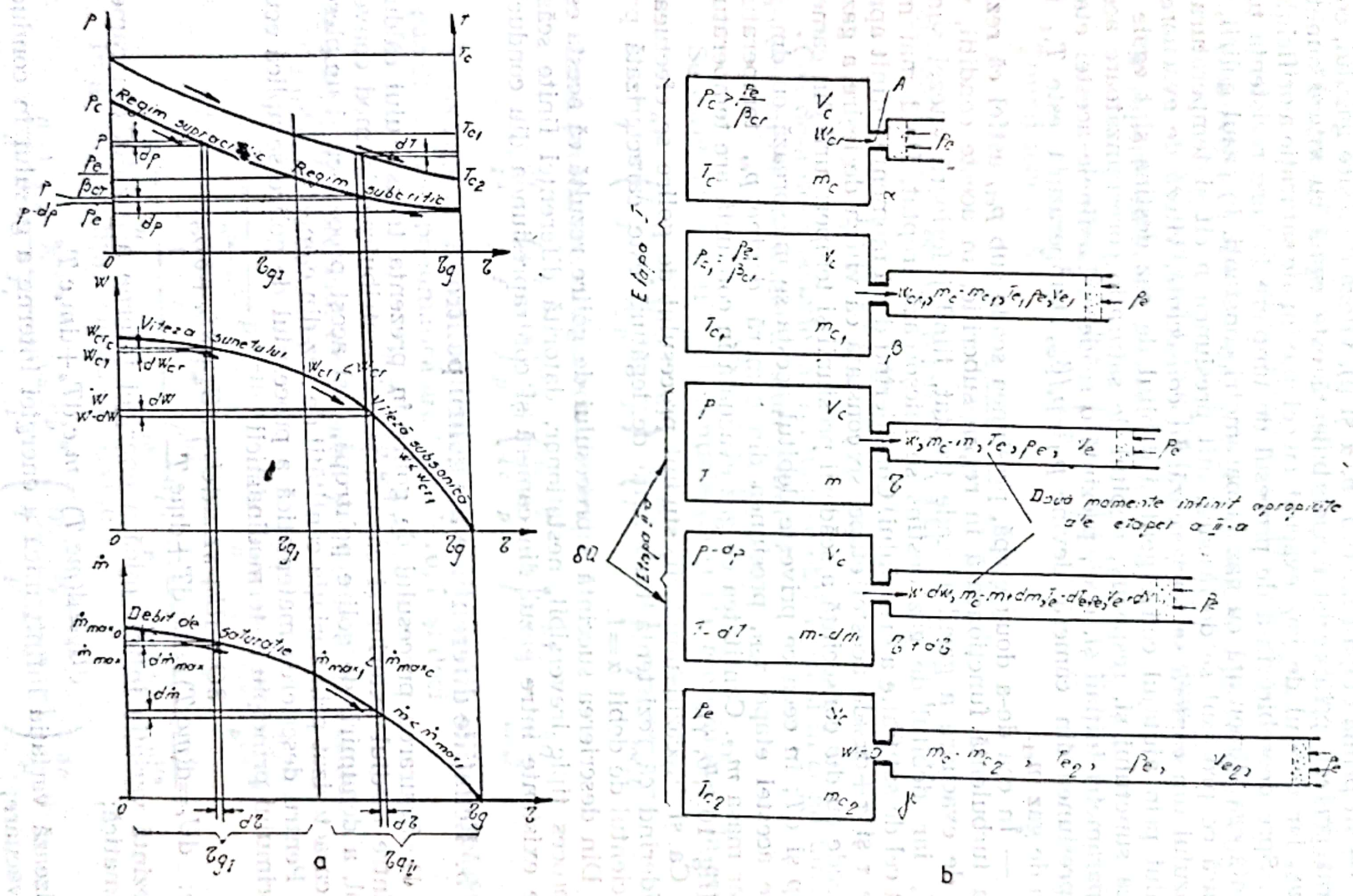

Regim supracritic
Regim subcritic
Viteza sunetului
Viteza subsonică
Debit de saturație
Etapa I
Etapa II
Două momente infinit apropiate ale etapei a II-a
a
b

Fig. 10.1.

siuni care, în cazul aerului ($k=1,4$) este 0,528, astfel că $p_c > 1,89\ p_e$. În aceste condiții, golirea camerei pneumatice se desfășoară, ca și umplerea, în două etape și anume:

— În prima etapă (fig. 10.1, *b*, α și β), viteza de ieșire gazului, considerat perfect, prin rezistența turbulentă este egală cu viteza sunetului w_{cr} iar debitul de gaz evacuat cu cel maxim de saturație a orificiului, m_{max}. Spre deosebire însă de procesul de umplere la care rezistența turbulentă era alimentată cu gaz la parametri constanți, în cazul golirii, pe măsură ce procesul se desfășoară, atît presiunea p cît și temperatura T a gazului din cameră se micșorează. În consecință, viteza de evacuare a gazului prin ajutajul convergent și debitul de gaz destins sînt egale cu viteza sunetului și, respectiv, debitul de saturație corespunzătoare acestor parametri inițiali și, deci, prezintă o scădere. La finele acestei etape τ_{gI}, presiunea din cameră devine $p_{c1}=p_e/\beta_{cr}$, temperatura este T_{c1} iar masa de gaz m_{c1}.

— În cea de-a doua etapă, presiunea scade sub p_{c1}, astfel că rezistența turbulentă funcționează în regim subcritic; în aceste condiții, viteza de evacuare a gazului scade treptat, fiind inferioară vitezei sunetului, iar debitul de gaz destins se micșorează treptat, fiind mai mic decît cel de saturație a orificiului. Considerînd două momente infinit apropiate τ și $\tau+d\tau$ ale acestei etape, se constată că viteza de ieșire a gazului scade cu dw consecință a scăderii presiunii și temperaturii din cameră cu dp și dT; în ceea ce privește debitul acesta se micșorează cu dm. La finele acestei etape τ_{gII}, presiunea din cameră devine p_e, temperatura T_{c2} iar masa m_{c2}. Cantitatea de gaz evacuată în conductă are temperatura T_{e2} (fig. 10.1, *b*, γ).

Ca și în cazul umplerii, studiul procesului de golire se efectuează considerînd că rezistența turbulentă de legătură este caracterizată prin coeficientul de debit $\alpha=1$.

Din descrierea succintă a procesului de golire rezultă că acesta este un proces tipic ireversibil, nestaționar, datorită diferenței finite scăzătoare existente între gazul din cameră și contrapresiunea din conductă.

3. Ecuațiile diferențiale ale golirii politrope

Desfășurarea procesului de golire în prezența transferului căldurii δQ între mediul exterior și cameră permite atribuirea, în mod convențional, a denumirii de golire politropă, deși acest proces, ca și umplerea, este caracterizat prin variația cantității de gaz din cameră.

Pentru descrierea matematică a procesului de golire se aplică ecuația primului principiu al termodinamicii:

$$\delta Q = dU + \delta L = dU_c + dU_e + \delta L_c + \delta L_e, \qquad (1)$$

unde: $dU_c = d(mc_vT) = mc_v dT + dmc_vT$

reprezintă variația infinit mică a energiei interne a gazului din camera pneumatică;

$$dU_e = d(mc_vT) = m_e c_v dT_e + dm_e c_v T_e$$

precizează variația infinit mică a energiei interne a gazului în conducta de evacuare;

$\delta L_c = pdV_c = 0$, întrucît $V_c = \text{const}$ iar $dV_c = 0$;

$$\delta L_e = p_e dV_e = d(p_e V_e) = d(m_e RT_e) = m_e R dT_e + dm_e RT_e$$

caracterizează schimbul elementar de lucru mecanic al gazului în conducta de evacuare cu mediul exterior de presiune p_e=const.

Rezultă deci că

$$\delta Q = mc_v dT + dmc_v T + m_e c_v dT_e + dm_e c_v T_e + m_e R dT_e + dm_e R T_e =$$
$$= mc_v dT + dmc_v T + m_e c_p dT_e + dm_e c_p T_e.$$

Observînd că $dm_e = -dm$ și $m_e = m_c - m$, se ajunge la relația

$$\delta Q = mc_v dT + dmc_v T + (m_c - m)c_p dT_e - dmc_p T_e. \qquad (2)$$

Se raportează la $mc_v T$ și rezultă

$$\frac{\delta Q}{mc_v T} = \frac{dT}{T} + \frac{dm}{m} + \left(\frac{m_c}{m} - 1\right) k \frac{dT_e}{T} - \frac{dm}{m} k \frac{T_e}{T}.$$

Ținînd seama că

$$\frac{m_e}{m} = \frac{p_e V_e/(RT_e)}{pV_e/(RT)} = \frac{p_e}{p} \cdot \frac{T}{T_e},$$

se ajunge la prima ecuație diferențială a procesului de golire:

$$\frac{dT}{T} - \left(k\frac{T_e}{T} - 1\right)\frac{dm}{m} + \left(\frac{p_e}{T_e} \cdot \frac{T}{p} - 1\right) k \frac{dT_e}{T} = \frac{\delta Q}{mc_v T}. \qquad (3)$$

Cea de-a doua ecuație diferențială se obține, ca și în cazul umplerii, prin diferențierea ecuației de stare astfel că

$$dm/m = dp/p - dT/T \qquad (4)$$

Se corelează ecuațiile diferențiale (3) și (4), ajungîndu-se la ecuația

$$\frac{dT}{T} - \left(k\frac{T_e}{T} - 1\right)\left(\frac{dp}{p} - \frac{dT}{T}\right) + \left(\frac{p_e}{T_e} \cdot \frac{T}{p} - 1\right) k \frac{dT_e}{T} = \frac{\delta Q}{mc_v T}.$$

După prelucrare, ultima ecuație devine

$$kT_e \frac{dT}{T^2} - \left(k\frac{T_e}{T} - 1\right)\frac{dp}{p} + \left(\frac{p_e}{Tc} \cdot \frac{T}{p} - 1\right) k \frac{dT_e}{T} = \frac{\delta Q}{mc_v T}. \qquad (5)$$

Se recurge la ipoteza conform căreia destinderea cantității scăzătoare de gaz din camera pneumatică are loc politropic și deci

$$T/T_c = (p/p_c)^{(n-1)/n}, \qquad (6)$$

unde $n \in [1, k]$ reprezintă exponentul politropic al procesului.

Ca urmare, se constată că:

$$T = \frac{T_e}{p_c^{(n-1)/n}} p^{(n-1)/n}; \quad dT = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{T_e}{p_e^{(n-1)/n}} \cdot \frac{dp}{p^{1/n}};$$

$$\frac{dT}{T^2} = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{p_c^{(n-1)/n}}{T_e} \cdot \frac{p^{1/n}}{p^2} dp; \quad \frac{T}{p} = \frac{T_e}{p_c^{(n-1)/n}} \cdot \frac{1}{p^{1/n}}.$$

În aceste condiții, ecuația (5) devine

$$\frac{n-1}{n} kT_e \frac{p_c^{(n-1)/n}}{T_e} p^{1/n} \frac{dp}{p^2} - \left(\frac{kT_e}{T_e} \cdot \frac{p_c^{(n-1)/n}}{p^{(n-1)/n}} - 1\right)\frac{dp}{p} +$$
$$+ \left(\frac{p_c^{1/n}}{p^{1/n}} - 1\right) \frac{p_c^{(n-1)/n}}{p^{(n-1)/n}} k \frac{dT_e}{T_e} = \frac{k-1}{V_e} \cdot \frac{\delta Q}{p}.$$

Scanned with OKEN Scanner

După prelucrare se ajunge la următoarea formă a ecuației diferențiale:

$$\frac{dT_e}{dp} - \frac{1}{n}\cdot\frac{1}{p^{(n-1)/n}(p_c^{1/n}-p^{1/n})}\,T_e = -\frac{1}{k}\cdot\frac{1}{p_e^{(n-1)/n}(p_c^{n/1}-p^{1/n})}\,T_e + \\ + \frac{k-1}{k}\cdot\frac{T_e}{V_e}\cdot\frac{1}{p_c^{(n-1)/n}}\cdot\frac{1}{p_c^{1/n}-p^{1/n}}\cdot\frac{\delta Q}{dp} \qquad (7)$$

Pentru determinarea raportului $\delta Q/dp$ se ține seama că

$$\delta Q = mc_n dT = \frac{pV_e}{RT}\,c_v\,\frac{n-k}{n-1}\,dT = \frac{n-k}{(k-1)(n-1)}\,pV_e\frac{dT}{T},$$

unde c_n reprezintă căldura specifică politropică a procesului.

Ținînd seama de expresiile lui T și dT, se ajunge în final la relația

$$\frac{\delta Q}{dp} = \frac{n-k}{(k-1)n}\,V_e. \qquad (8)$$

Ca urmare, ecuația diferențială (7) devine

$$\frac{dT_e}{dp} + \frac{1}{n}\cdot\frac{1}{p^{(n-1)/n}(p^{1/n}-p_c^{1/n})}\,T_e = \frac{1}{n}\cdot\frac{T_e}{p_c^{(n-1)/n}(p^{1/n}-p_c^{1/n})} \qquad (9)$$

Se notează prin:

$$\left.\begin{aligned} F_1(p) &= \frac{1}{n}\cdot\frac{1}{p^{(n-1)/n}(p^{1/n}-p_c^{1/n})}; \\ F_2(p) &= \frac{1}{n}\cdot\frac{T_e}{p_c^{(n-1)/n}(p^{1/n}-p_c^{1/n})}. \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Pe această bază, ecuația diferențială (9) devine

$$\frac{dT_e}{dp} + F_1(p)T_e = F_2(p). \qquad (11)$$

Soluția generală a acestei ecuații diferențiale liniare și neomogene este următoarea:

$$T_e = e^{-\int F_1(p)dp}\left[\int F_2(p)e^{\int F_1(p)dp}\,dp + C\right], \qquad (12)$$

C fiind constanta de integrare.

Se observă că:

$$\left.\begin{aligned} \int F_1(p)dp &= \frac{1}{n}\int\frac{dp}{p^{(n-1)/n}(p^{1/n}-p_e^{1/n})} = \ln(p^{1/n}-p_c^{1/n}); \\ e^{-\int F_1(p)dp} &= e^{-\ln(p^{1/n}-p_c^{1/n})} = \frac{1}{p^{1/n}-p_c^{1/n}}; \\ \int F_2(p)e^{\int F_1(p)dp}dp &= \frac{1}{n}\,\frac{T_e}{p_c^{(n-1)/n}}\int dp = \frac{1}{n}\cdot\frac{T_e}{p_c^{n-1/n}}\,p. \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

Pe baza relațiilor (13) se ajunge la

$$T_e = \frac{\frac{1}{n}\cdot\frac{T_e}{p_c^{(n-1)/n}}\,p + C}{p^{1/n}-p_c^{1/n}}. \qquad (14)$$

Scanned with OKEN Scanner

Constanta de integrare se determină aplicînd condiția $p=p_c$:

$$C=-\frac{1}{n}T_c p_c^{1/n}. \tag{15}$$

Ținînd seama de expresia (15), se ajunge la relația finală de calcul al temperaturii gazului evacuat în prezența transferului căldurii între mediul exterior și camera pneumatică:

$$\frac{T_e}{T_c}=\frac{1}{n}\cdot\frac{1-p/p_c}{1-(p/p_c)^{1/n}} \tag{16}$$

Se observă că pentru $p_c/p=1$ rezultă $T_e/T_c=1$ iar dacă $p_c/p\to\infty$, se constată că $T_e/T_c\to 1/n$, astfel că, în cazul golirii adiabate, temperatura minimă atinsă este $(T_e/T_c)_{min}=1/k$ iar dacă procesul decurge izotermic, $n=1$, evident $T_e=T_c$.

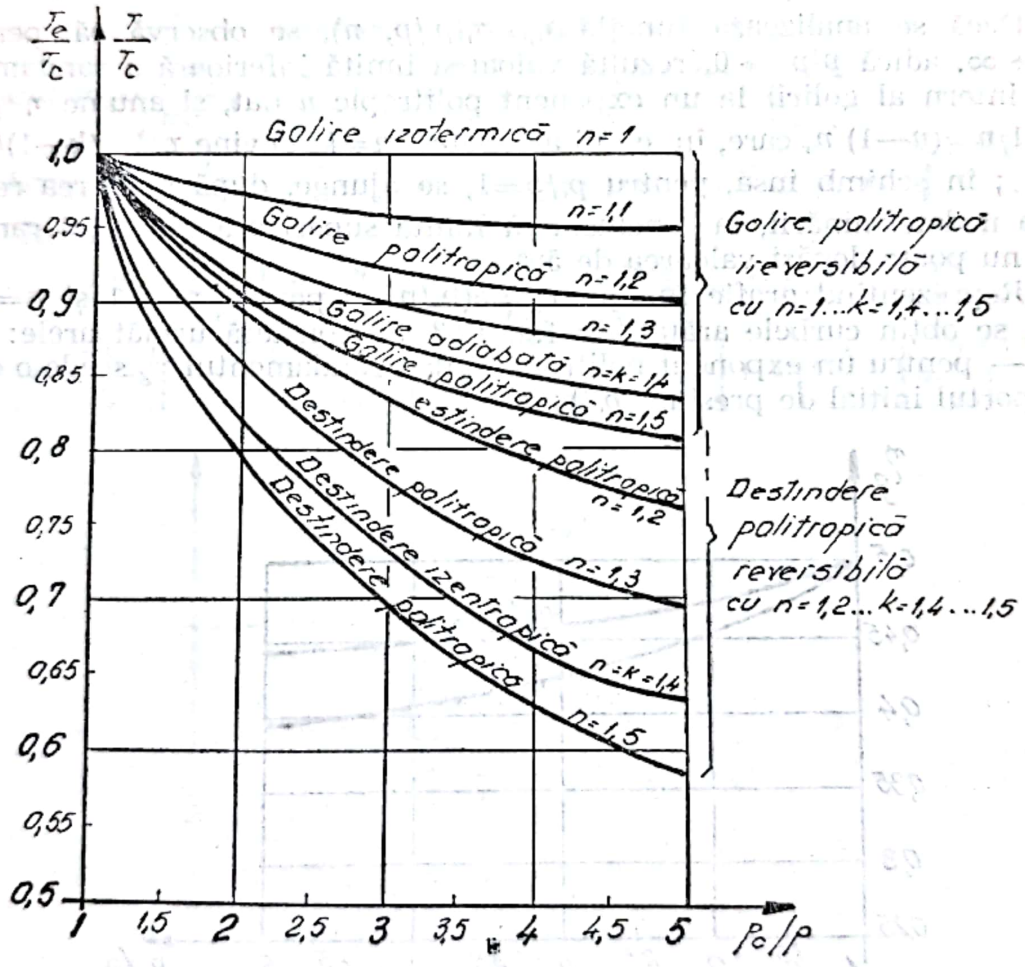


Fig. 10.2.

În fig. 10.2 sînt reprezentate grafic funcțiile $T_e/T_c=f(p_c/p,\ n)$, precizată de relația (16), și $T/T_c=f(p_c/p,\ n)$, definită de relația (6). Se remarcă următoarele:

— pentru un exponent politropic n dat, temperatura de evacuare a gazului T_e este superioară temperaturii T din camera pneumatică, indiferent de raportul inițial de presiuni p_c/p, consecință a ireversibilității procesului;

Scanned with OKEN Scanner

— pentru un raport de presiuni p_c/p dat, atît temperatura de evacuare a gazului T_e, cît și temperatura gazului rămas în cameră T cresc pe măsură ce aportul de căldură din exterior se intensifică, adică o dată cu micșorarea exponentului politropic n.

Pentru definirea unui randament intern al procesului de golire se raportează scăderea temperaturii obținută prin golirea ireversibilă la cea corespunzătoare destinderii politropice reversibile cu același exponent politropic n:

$$\eta_G = \frac{\Delta T_g}{\Delta T_{dp}} = \frac{T_c - T_e}{T_c - T} = \frac{1 - T_e/T_c}{1 - T/T_c}. \tag{17}$$

Ținînd seama de relațiile (6) și (16), rezultă

$$\eta_g = \frac{1 - \frac{1}{n} \cdot \frac{1 - p/p_c}{1 - (p/p_c)^{1/n}}}{1 - (p/p_c)^{(n-1)/n}}. \tag{18}$$

Dacă se analizează funcția $\eta_g = \eta(p_c/p,\ n)$, se observă că, pentru $p_c/p \to \infty$, adică $p/p_c \to 0$, rezultă valoarea limită inferioară a randamentului intern al golirii la un exponent politropic n dat, și anume $\eta_{g(\min)} = 1 - 1/n = (n-1)/n$, care, în cazul adiabatei $n=k$, devine $\eta_g^{(k)} = (k-1)/k > \eta_g^{(n)}$; în schimb însă, pentru $p_c/p = 1$, se ajunge, după ridicarea repetată a nedeterminării, la concluzia că limita superioară a acestui randament nu poate depăși valoarea de 50%.

Reprezentînd grafic funcția $\eta_g = \eta(p_c/p,\ n)$ pentru $n = 1{,}1$ și $n = k = 1{,}4$, se obțin curbele arătate în fig. 10.3. Se constată următoarele:

— pentru un exponent politropic n dat, randamentul η_g scade o dată cu raportul inițial de presiuni p_c/p;

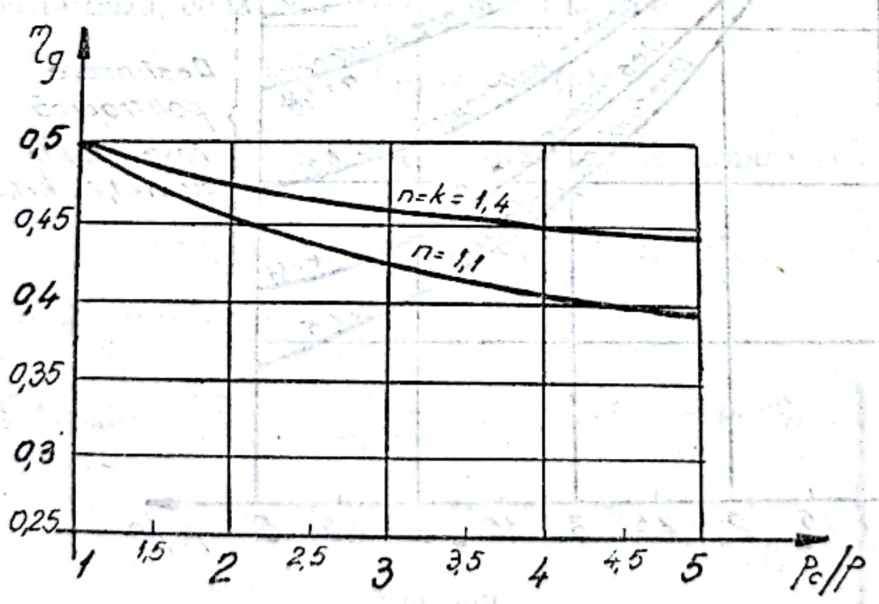


Fig. 10.3.

— pentru un raport inițial de presiuni, randamentul η_g scade o dată cu intensificarea aportului de căldură din exterior și, implicit, la micșorarea exponentului politropic n.

Spre deosebire de camerele pneumatice și cilindrii motoarelor pneumatice, respectiv detentoarelor criogenice cu piston, la care în timpul golirii (evacuării libere) are loc un aport de căldură din exterior, în cazul

Scanned with OKEN Scanner

motoarelor cu ardere internă, datorită temperaturii ridicate a gazelor în timpul procesului, acestea cedează căldură pereților cilindrului, astfel că exponentul politropic are valori $n > k$.

4. Variația entropiei în procesul de golire politropică

În desfășurarea procesului politropic de golire, entropia sistemului format din camera pneumatică (cilindru) și linia pneumatică (conducta de evacuare) crește, pe de-o parte datorită ireversibilității interne a procesului iar, pe de altă parte, ca o consecință a aportului de căldură din exterior.

Pentru a determina această creștere de entropie se observă că (v. fig. 10.1):

$$\Delta S_g = S_\gamma - S_\alpha = m_{c2}s_{c2} + (m_c - m_{c2})s_e - m_c s_c = m_c(s_e - s_c) - m_{c2}(s_e - s_{c2}) =$$
$$= m_c[s_e - s_c - (m_{c2}/m_c)(s_e - s_{c2})] \qquad (19)$$

în care: $m_c = \frac{p_c V_c}{RT_c}$; $\frac{m_{c2}}{m_c} = \frac{p_e}{p_c} \cdot \frac{T_c}{T_{c2}} = \frac{p_e}{p_c}\left(\frac{p_c}{p_e}\right)^{(n-1)/n} = \left(\frac{p_e}{p_c}\right)^{1/n}$;

$$s_e - s_c = c_p \ln \frac{T_e}{T_c} - R \ln \frac{p_e}{p_c}; \quad s_e - s_{c2} = c_p \ln \frac{T_e}{T_{c2}}; \quad T_{c2} = T_c \left(\frac{p_c}{p_e}\right)^{(n-1)/n}.$$

Rezultă

$$\Delta S_g = \frac{p_c V_c}{RT_c}\left[R \ln \frac{p_c}{p_e} - c_p \ln \frac{T_e}{T_c} - c_p \left(\frac{p_e}{p_c}\right)^{1/n} \ln \frac{T_e}{T_c}\left(\frac{p_c}{p_e}\right)^{(n-1)/n}\right] =$$
$$= \frac{p_c V_c}{T_e}\left\{\left[1 - \frac{k}{k-1} \cdot \frac{n-1}{n}\left(\frac{p_e}{p_c}\right)^{1/n}\right] \ln \frac{p_c}{p_e} - \frac{k}{k-1}\left[1 - \left(\frac{p_e}{p_c}\right)^{1/n}\right] \ln \frac{T_e}{T_c}\right\}. \qquad (20)$$

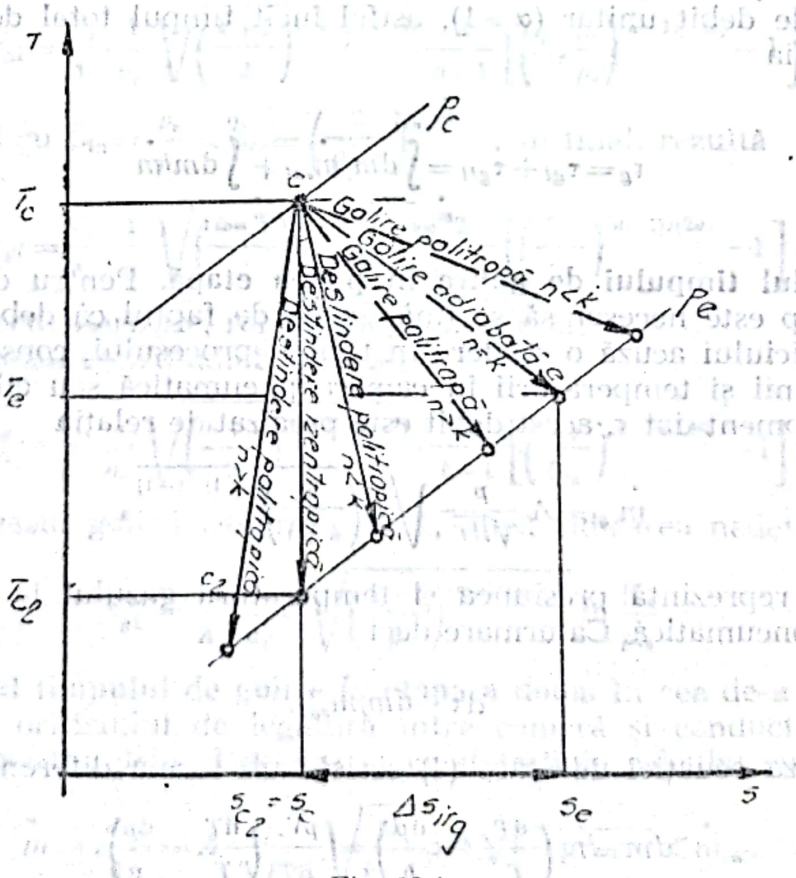


Fig. 10.4.

La limită, în cazul golirii adiabate, n=k, astfel încît creşterea entropiei este determinată numai de ireversibilitatea internă a procesului:

$$\Delta S_{ir\,g}=\frac{p_cV_c}{T_e}\left[1-\left(\frac{p_e}{p_c}\right)^{1/k}\right]\left(\frac{k-1}{k}\ln\frac{p_c}{p_e}-\ln\frac{T_e}{T_c}\right)\frac{k}{k-1}=$$

$$=\frac{k}{k-1}\cdot\frac{p_cV_e}{T_e}\left[1-\left(\frac{p_e}{p_c}\right)^{1/k}\right]\ln\frac{T_e}{T_{c2}}>0, \qquad (21)$$

unde $T_e>T_{c2}$.

În această situaţie, creşterea entropiei datorită ireversibilităţii poate fi pusă în evidenţă prin reprezentarea convenţională a golirii comparativ cu destinderea izentropică în diagrama T—s arătată în fig. 10.4.

$$\Delta S_{ir\,g}=s_e-s_c=s_e-s_{c2}=c_p\ln(T_e/T_{c2});$$

iar

$$\Delta s_{ir\,g}=(m_c-m_{c2})\Delta s_{ir\,g}=m_c(1-m_{c2}/m_c)c_p\ln(T_e/T_{c2}),$$

relaţie identică cu (21).

5. Determinarea timpului de golire politropică a unui spaţiu de volum constant

Ca şi în cazul umplerii, se consideră că rezistenţa turbulentă care face legătura între camera pneumatică înfundată sau spaţiul cilindrului controlat de piston şi conducta de evacuare este caracterizată printr-un coeficient de debit unitar ($\alpha=1$), astfel încît timpul total de golire este dat de relaţia

$$\tau_g=\tau_{gI}+\tau_{gII}=\int_{\dot m_{max\,c}}^{\dot m_{max1}}dm/\dot m_{sat}+\int_{\dot m_{max1}}^{0}dm/\dot m \qquad (22)$$

Calculul timpului de golire în prima etapă. Pentru determinarea acestui timp este necesar să se ţină seama de faptul că debitul de saturaţie a orificiului acuză o scădere în timpul procesului, consecinţă a scăderii presiunii şi temperaturii în camera pneumatică sau cilindru, astfel că, la un moment dat τ, acest debit este precizat de relaţia

$$\dot m_{sat}=A\frac{p}{\sqrt{RT}}\sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{(k+1)/(k-1)}}, \qquad (23)$$

unde p, T reprezintă presiunea şi temperatura gazului la momentul τ în camera pneumatică. Ca urmare deci

$$d\tau=dm/\dot m_{sat}. \qquad (24)$$

Pe baza ecuaţiei de stare (4) scrisă sub formă diferenţială, rezultă

$$dm=m\left(\frac{dT}{T}-\frac{dp}{p}\right)=\frac{pV_c}{RT}\left(\frac{dT}{T}-\frac{dp}{p}\right). \qquad (25)$$

Scanned with OKEN Scanner

S-a considerat că procesul de destindere a gazului în camera pneumatică are loc pe cale politropică reversibilă, astfel că

$$\frac{T}{T_c}=\left(\frac{p}{p_c}\right)^{(n-1)/n};\quad dT=\frac{n-1}{n}\cdot\frac{T_c}{p_c^{(n-1)/n}}\cdot\frac{dp}{p^{1/n}} \tag{26}$$

Rezultă imediat că

$$\frac{dT}{T}=\frac{n-1}{n}\cdot\frac{dp}{p}. \tag{27}$$

Corelînd relațiile (25) . . . (27), se ajunge la

$$dm=-\frac{1}{n}\cdot\frac{p_c^{(n-1)/n}V_c}{RT_c}\cdot\frac{dp}{p^{(n-1)/n}}. \tag{28}$$

Ținînd seama de relațiile (23), (24) și (28), rezultă, în final, că

$$d\tau=-\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{\sqrt{kRT_c}}p_c^{(n-1)/(2n)}\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}\frac{dp}{p^{(3n-1)/(2n)}}. \tag{29}$$

Întrucît $a_c=\sqrt{kRT_c}$ reprezintă viteza sunetului la temperatura T_c, se procedează la integrarea ecuației (29):

$$\tau_{gI}=-\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{a_c}p_c^{(n-1)/(2n)}\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}\int_{p_c}^{p_c/\beta_{cr}}p^{(1-3n)/(2n)}dp$$

După efectuarea integrării, se constată că

$$\tau_{gI}=\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_c}\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}\frac{2}{n-1}\left[\left(\beta_{cr}\frac{p_c}{p_c}\right)^{(n-1)/(2n)}-1\right].$$

Notînd cu $\beta_{in}=\frac{p_c}{p_c}<\beta_{cr}=\left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/(k-1)}$, în final, rezultă

$$\tau_{gI}=\frac{V_c}{A}\frac{1}{a_c}\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}\frac{2}{n-1}\left[\left(\frac{\beta_{cr}}{\beta_{in}}\right)^{(n-1)/(2n)}-1\right]. \tag{30}$$

Prin particularizare, relația (30) conduce la:

— în cazul golirii adiabate, $n=k$,

$$\tau_{gI}^{ad}=\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_c}\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}\cdot\frac{2}{k-1}\left[\left(\frac{\beta_{cr}}{\beta_{in}}\right)^{(k-1)/(2k)}-1\right]; \tag{30, a}$$

— în cazul golirii izoterme, $n=1$, după ridicarea nedeterminării,

$$\tau_{gI}^{izot}=\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_c}2\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}\ln\frac{\beta_{cr}}{\beta_{in}}. \tag{30, b}$$

Calculul timpului de golire în etapa a doua. În cea de-a doua etapă, funcționarea orificiului de legătură între cameră și conductă avînd loc în regim subcritic, debitul de gaz evacuat trebuie calculat cu relația

$$\dot{m}=\frac{dm}{d\tau}=A\frac{p}{\sqrt{RT}}\sqrt{\frac{2k}{k-1}}\beta^{1/k}\sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}<\dot{m}_{cr}, \tag{31}$$

unde $\beta=\frac{p_e}{p}>\beta_{cr}$ reprezintă raportul de presiuni la un moment dat τ al etapei a doua.

Din relația (10) se extrage

$$d\tau=\frac{dm}{\dot{m}}=$$

$$=-\frac{1}{n}\cdot\frac{p_c^{(n-1)/n}V_c}{RT_c}\cdot\frac{dp}{p^{(n-1)/n}}\cdot\frac{1}{A}\cdot\frac{\sqrt{RT}}{p}\cdot\sqrt{\frac{k-1}{2k}}\cdot\frac{1}{\beta^{1/k}\sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}}. \quad (32)$$

După prelucrarea ecuației (32) se ajunge la concluzia că

$$d\tau=-\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_c}\sqrt{\frac{k-1}{2}}\cdot\frac{1}{n}\cdot\frac{p_c^{(n-1)/(2n)}}{p_t p_e^{(n-1)/(2n)}}\cdot\frac{dp}{\left(\frac{p_e}{p}\right)^{(1-3n/(2n)}\left(\frac{p_e}{p}\right)^{1/k}\sqrt{1-\left(\frac{p_e}{p}\right)^{(k-1)/k}}}. \quad (33)$$

Se revine din nou la variabila β:

$$\beta=p_c/p;\ p=p_e/\beta;\ dp=-p_e\ d\beta/\beta^2. \quad (34)$$

Ca urmare:

$$d\tau=\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_c}\sqrt{\frac{k-1}{2}}\cdot\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{\beta_{in}^{(n-1)/(2n)}}\cdot\frac{d\beta}{\beta^{(n+1)/(2n)}\ \beta^{1/k}\sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}}. \quad (35)$$

Pentru integrarea ecuației (35) se recurge la schimbarea variabilei $\beta<1$:

$$1-\beta^{(k-1)/k}=z^2;\ d\beta=-2\frac{k}{k-1}\beta^{1/k}z\,dz. \quad (36)$$

În aceste condiții, se constată că

$$\frac{d\beta}{\beta^{(n+1)/(2n)}\ \beta^{1/k}\sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}}=-2\frac{k}{k-1}(1-z^2)^{-\frac{n+1}{2n}\cdot\frac{k}{k-1}}dz. \quad (37)$$

Se procedează la dezvoltarea în serie cu reținerea primilor trei termeni, ceea ce asigură un grad de precizie suficient de ridicat calculului:

$$(1-z^2)^{-\frac{1}{2}\cdot\frac{k}{n}\cdot\frac{n+1}{k-1}}\approx 1+\frac{1}{2}\cdot\frac{k}{n}\cdot\frac{n+1}{k-1}z^2+\frac{1}{2^2}\cdot\frac{k}{n}\cdot\frac{n+1}{k-1}\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{k}{n}\cdot\frac{n+1}{k-1}+1\right)z^4.$$

Întrucît $\beta=\beta_{cr}\ldots 1$, rezultă că $z=\sqrt{(k-1)/(k+1)}\ldots 0$, iar integrarea conduce la

$$\int_{\beta_{cr}}^{1}\frac{d\beta}{\beta^{(n+1)/(2n)}\ \beta^{1/k}\sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}}=-2\frac{k}{k-1}\int_{\sqrt{(k-1)/(k+1)}}^{0}(1-z^2)^{-\frac{1}{2}\cdot\frac{k}{n}\cdot\frac{n+1}{k-1}}dz\approx$$

$$\approx 2\frac{k}{k-1}\left[\sqrt{\frac{k-1}{k+1}}+\frac{1}{2}\cdot\frac{k}{n}\cdot\frac{n+1}{k-1}\cdot\frac{1}{3}\left(\frac{k-1}{k+1}\right)^{3/2}+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{4}\cdot\frac{k}{n}\cdot\frac{n+1}{k-1}\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{k}{n}\cdot\frac{n+1}{k-1}+1\right)\frac{1}{5}\left(\frac{k-1}{k+1}\right)^{5/2}\right]. \quad (38)$$

Scanned with OKEN Scanner

După prelucrarea relației (38), se ajunge la concluzia că

$$\int_{\beta_{cr}}^{1} \frac{d\beta}{\beta^{(n+1)/(2n)}\,\beta^{1/k}\sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}} = \frac{2k}{\sqrt{k^2-1}}\,F(n,k), \tag{39}$$

unde $F(n,k)=1+\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{10}\cdot\frac{k-1}{k+1}\right)^{k/(k+1)}+\frac{1}{40}\left[\frac{k/(k+1)}{n/(n+1)}\right]^2$. (40)

Ca urmare

$$\tau_{gII}=\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_c}\,k\sqrt{\frac{2}{k+1}}\,\frac{1}{n}\,\beta_{in}^{(1-n)/(2n)}\,F(n,k). \tag{41}$$

Se determină $F(n,k)$ în cele două cazuri extreme, și anume:
— în cazul golirii adiabate $n=k$ astfel că

$$F(k)=\frac{1}{240}\cdot\frac{293k+269}{k+1}. \tag{42}$$

și deci $\tau_{gII}^{ad}=\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_c}\,\beta_{in}^{(1-k)/(2k)}\,\frac{293k+269}{120\sqrt{2}\,(k+1)^{3/2}}$; (43)

— în cazul golirii izoterme $n=1$ și, ca urmare,

$$F(k)=\frac{46k^2+67k+30}{30(k+1)^2}, \tag{44}$$

iar $\tau_{gII}^{izot}=\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_c}\,k\,\frac{46k^2+67k+30}{15\sqrt{2}\,(k+1)^{5/2}}$. (45)

Calculul timpului total de golire. Ținînd seama de relațiile (22), (30) și (41), se ajunge, în final, la expresia timpului total de golire

$$\tau_g=\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_c}\left\{\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}\,\frac{2}{n-1}\left[\left(\frac{\beta_{cr}}{\beta_{in}}\right)^{(n-1)/2n}-1\right]+\frac{k}{n}\sqrt{\frac{2}{k+1}}\,\frac{F(n,k)}{\beta_{in}^{(n-1)/(2n)}}\right\}[\mathrm{s}], \tag{46}$$

unde $\beta_{in}=0\ldots\beta_{cr}=0{,}528$ în cazul aerului ($k=1{,}4$).

Pentru a evidenția influența schimbului de căldură între camera pneumatică și mediul exterior asupra timpului de golire se procedează la reprezentarea grafică a funcției adimensionale:

$$\bar{\tau}_g=\frac{\tau_g}{V_c/(Aa_c)}=\frac{K_1}{n-1}\left[\left(\frac{\beta_{cr}}{\beta_{in}}\right)^{(n-1)/(2n)}-1\right]+\frac{K_2}{n}\cdot\frac{F(n,k)}{\beta_{in}^{(n-1)/(2n)}}[-], \tag{47}$$

unde, în cazul aerului ($k=1{,}4$), se constată că:

$$K_1=2\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}=2\sqrt{\left(\frac{1{,}4+1}{2}\right)^{(1{,}4+1)/(1{,}4-1)}}=3{,}456; \tag{48}$$

$$K_2=k\sqrt{2/(k+1)}=1{,}4\,\sqrt{2/(1{,}4+1)}=1{,}278. \tag{49}$$

În aceste condiții, relația (47) devine

$$\bar{\tau}_g=\frac{3{,}456}{n-1}\left[\left(\frac{0{,}528}{\beta_{in}}\right)^{(n-1)/(2n)}-1\right]+1{,}278\,\frac{F(n,k)}{n}\left(\frac{1}{\beta_{in}}\right)^{(n-1)/(2n)} \tag{50}$$

Scanned with OKEN Scanner

În cele două cazuri particulare, ultima expresie devine:
— pentru golirea izotermică $n=1$,

$$\bar{\tau}_g^{izot}=1{,}728\ \ln(0{,}528/\beta_{in})+1{,}278\ F(k)\ [—],$$

unde $F(k)=\dfrac{46k^2+67k+30}{30(k+1)^2}=\dfrac{46\cdot 1{,}4^2+67\cdot 1{,}4+30}{30(1{,}4+1)^2}=1{,}238,$

astfel că $\bar{\tau}_g^{izot}=1{,}728\ \ln(0{,}528/\beta_{in})+1{,}582\ [—];$ (51)

— pentru golirea adiabată $n=k$,

$$\bar{\tau}_g^{ad}=\frac{3{,}456}{k-1}\left[\left(\frac{0{,}528}{\beta_{in}}\right)^{(k-1)/(2k)}-1\right]+1{,}278\ \frac{F(k)}{k}\left(\frac{1}{\beta_{in}}\right)^{(k-1)/(2k)}[—]$$

unde $F(k)=\dfrac{293k+269}{240(k+1)}=\dfrac{293\cdot 1{,}4+269}{240(1{,}4+1)}=1{,}179$

și, ca urmare, pentru $k=1{,}4$ rezultă

$$\bar{\tau}_g^{ad}=\frac{8{,}964}{\beta_{in}^{0{,}143}}-8{,}64\ [—].$$ (52)

Se reprezintă grafic funcția adimensională ($\bar{\tau}_g=\bar{\tau}(\beta_{in},n)$, în care $\beta_{in}=0\ldots\beta_{cr}=0{,}528$ iar $n=1\ldots k=1{,}4$. Din fig. 10.5 rezultă următoarele:
— pentru un exponent politropic n dat, timpul de golire a unui spațiu de volum constant scade pe măsură ce raportul inițial de presiuni β_{in} crește;
— pentru un raport inițial de presiuni β_{in} dat, timpul de golire scade o dată cu atenuarea transferului căldurii din exterior, adică la creșterea exponentului politropic n;

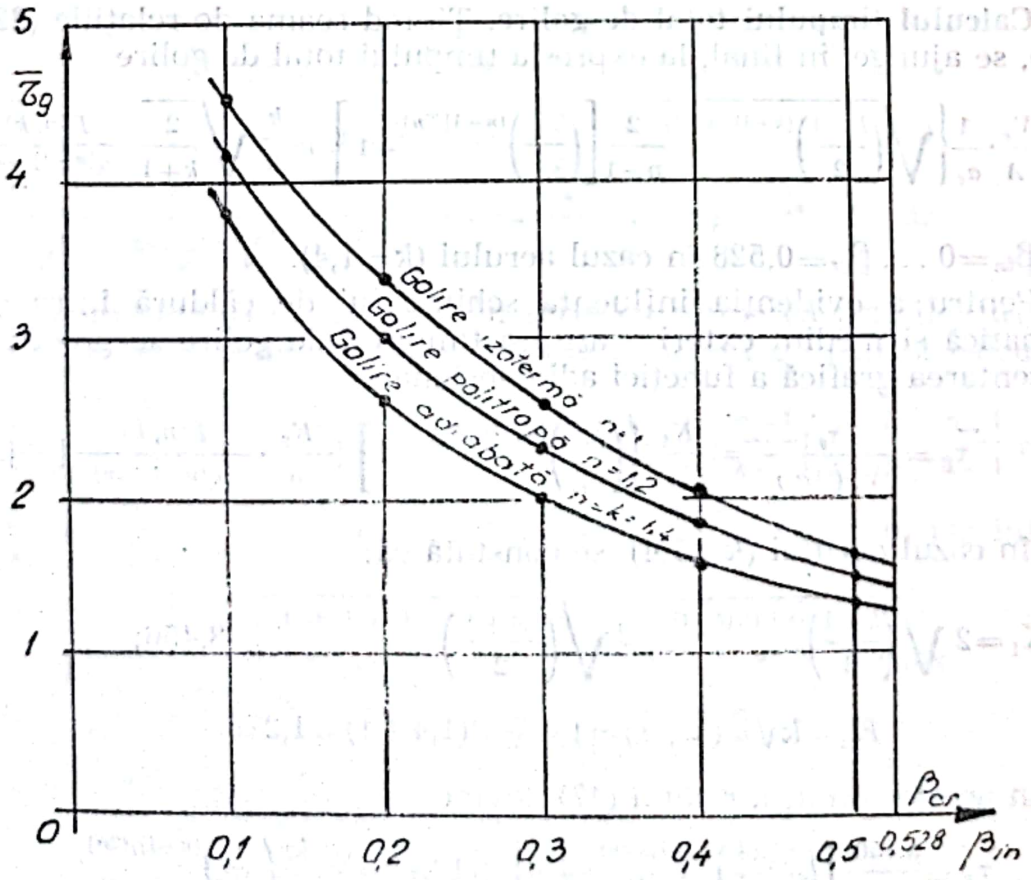


Fig. 10.5.

Scanned with OKEN Scanner

— în aceleași condiții (V_c, β_{in}, k, n), golirea unui spațiu de volum constant durează sensibil mai mult, de peste două ori, decît umplerea [10];

— influența transferului de căldură asupra timpului de golire este sensibil mai mică decît în cazul umplerii [10].

În condiții reale de golire, rezistența turbulentă de legătură între cameră și conductă funcționează în condițiile unui coeficient de debit $\alpha < 1$. Ca urmare, timpul de golire crește, întrucît debitul real de gaz evacuat este inferior celui teoretic. Orientativ, timpul real de golire a unui spațiu de volum constant poate fi determinat cu relația

$$\tau_{g\ real} = \frac{\tau_{g\ teoretic}}{\alpha} > \tau_{g\ teoretic} \tag{53}$$

6. Concluzii

Studiul termodinamic al procesului ireversibil, nestaționar, de golire (evacuare liberă) a unui spațiu de volum constant, a fost făcut cu luarea în considerare a transferului de căldură mediu exterior-spațiu. Ipoteza utilizată se referă la faptul că în timp ce destinderea cantității variabile, scăzătoare, de gaz din spațiul considerat este o politropă reversibilă, destinderea gazului evacuat are un caracter ireversibil datorită diferenței finite scăzătoare de presiune între spațiu și conductă, care joacă rolul unei forțe termodinamice, fluxul termodinamic fiind debitul de gaz, din ce în ce mai mic, evacuat în conductă.

Pe baza ecuațiilor diferențiale ale procesului de evacuare liberă se ajunge la stabilirea expresiei timpului de golire care, reprezentat sub formă adimensională, în funcție de raportul inițial de presiuni și exponentul politropic, poate fi utilizat în operațiile de proiectare ale sistemelor pneumoautomate, respectiv, ale mașinilor cu piston de tipul motoarelor cu ardere internă și detentoarelor criogenice.

BIBLIOGRAFIE

1. ZALMANZON, A. L. Protocinîe elementî pnevmoavtomaticeskih priborov kontrolia i upravleniia. Izd-vo Akad. Nauk SSSR, Moscova, 1961.
2. RADCENCO, V. Analiza termodinamică a proceselor teoretice de umplere și evacuare a gazului din cilindrul detentorului cu piston. În: Bul. Inst. Polit. București, XXVII, 3, 1965.
3. RADCENCO, V. Cercetări privind efectul frigorific al evacuării libere. În: Șt. cerc. energ. electrot. 18, 3, 1968.
4. RADCENCO, V. Teoreticeskoe issledovanie gazotermodinamiceskih protessov porșnevîh detanderov. În: Rev. Roum. Sci. techniques — Electrot. et Energ., 14, 1, 1969.

Scanned with OKEN Scanner

5. RADCENCO, V. Cu privire la determinarea timpului de umplere și golire al unui recipient. Comunicare prezentată la sesiunea științifică a Inst. polit. București, 1974.
6. IBRAGHIMOV, I. A. ș.a. Elementî i sistemî pnevmoavtomatiki. Vîsșaia Școla, Moscova, 1975.
7. RADCENCO, V. Termodinamică tehnică și mașini termice — Procese ireversibile. București, Ed. Didactică și Pedagogică, 1976.
8. DEMIAN, TR. și BANU, V. Micromotoare pneumatice liniare și rotative. București, Ed. Tehnică, 1984.
9. RADCENCO, V. ș.a. Calculul și proiectarea elementelor și schemelor pneumatice de automatizare. București, Ed. Tehnică, 1985.
10. RADCENCO, V. și RADCENCO, LUMINIȚA. Cu privire la studiul procesului nestaționar de umplere politropică a unui spațiu de volum constant. În TCMM 3, Editura Tehnică, 1988.

Scanned with OKEN Scanner

TM
CM

IV

MATERIALE, ELABORARE, UTILIZARE, RECICLARE, ÎNLOCUITORI

Scanned with OKEN Scanner

11

Perspective ale noilor materiale și ale înlocuitorilor în construcția de mașini*)

Ing. *Rodica Nicolescu*
Ing. *Dan Radulian*
Institutul Central pentru Construcții de Mașini

1. Introducere

Realizarea obiectivelor preconizate pentru construcția de mașini pînă în anii 2010—2020 se află sub semnul unor mutații în ramură în ceea ce privește dezvoltarea intensivă și calitativă — bazată pe aplicarea largă a cuceririlor revoluției tehnico-științifice și dezvoltarea puternică a științei și învățămîntului, care să conducă la afirmarea țării noastre în competiția mondială, din ce în ce mai grea — pentru supremație tehnologică. Strategiile adoptate în acest sens sînt complexe și diversificate funcție de multitudinea obiectivelor ramurii, vizînd asigurarea dezvoltării în perspectivă a tuturor ramurilor economiei naționale, prin realizarea unor produse, instalații, echipamente și practicarea unor tehnologii complexe, de înaltă tehnicitate, capabile să faciliteze progresul tehnologic în economie și viața socială.

Asigurarea bazei materiale necesare industriei construcțiilor de mașini are o importanță de prim ordin, atît în prezent cît și în perspectivă. În prezent, în *perspectiva pe termen scurt și mediu* este pus accentul pe realizarea de produse cu consumuri specifice de materiale și energie cît mai reduse, pe înlocuirea materialelor scumpe și deficitare, extinderea recuperării materialelor și recondiționarea pieselor uzate, iar în *perspectiva pe termen mediu—lung,* suplimentar celor spuse și într-un fel nou, accentul cade pe *producerea și utilizarea unor materiale noi* — în care se includ aspectele energetice implicate atît la realizarea de structuri fundamental diferite de cele de azi cît și la tehnologii de realizare a pieselor, sau părți ale acestora și tehnologii de „îmbinare" a părților în piese hibride, complexe (metal+ceramică+compozite+pulberi sinterizate etc.), optimizate pe întreg lanțul concepție, fabricație, utilizare, reutilizare — prin tehnici bazate pe calculatoare evoluate.

* La elaborarea acestui material s-a avut în vedere „Consfătuirea CNIT-ICCM" privind „Noi materiale și înlocuitori ai materialelor scumpe și deficitare pentru Industria construcțiilor de mașini" din București, 7 iulie 1987.

Scanned with OKEN Scanner

2. Tendinţe pe plan mondial

Progresele realizate, îndeosebi în ultimii ani, în fizica nucleară, supraconductibilitate, fizica temperaturilor înalte şi joase, fizica plasmei şi laserilor, dezvoltările în fizica sistemelor dezordonate, fizica corpului solid şi succesele în domenii de interferenţă ca biochimia, bioenergetica, geochimia ş.a. precum şi progresele cerute de tehnologiile viitorului: energetica clasică (nucleară) şi pe bază de noi surse (solară, hidrogen ş.a.), exploatarea cosmosului, a marilor adîncimi terestre şi marine sau a zonelor extreme ale planetei (deşerturi, zona polară), informatica, genetica şi altele, permit şi cer susţinerea cu noi materiale avînd funcţii noi sau performanţe mult peste limitele actuale.

În ţările dezvoltate industrial — S.U.A., Japonia, U.R.S.S., Franţa, Anglia, R.F. Germania, sînt abordate cercetări fundamentale — de circa 10—15 ani, unele chiar mai vechi — şi în unele cazuri şi cercetări aplicative pentru realizarea de noi materiale metalice, noi materiale ceramice funcţionale, plastice funcţionale, materiale compozite ş.a.

În general, în ultimii ani, dar mai cu seamă după ultimele „seisme" pe piaţa combustibililor şi materiilor prime „clasice", căutările în domeniul noilor materiale şi a înlocuitorilor au fost impulsionate în toate ţările cu o dezvoltare industrială puternică, cercetîndu-se căi de înlocuire a materiilor prime strategice (deficitare, scumpe) şi promovîndu-se noi înlocuitori, în paralel cu intensificarea prospectării de zăcăminte noi — tocmai în zona materiilor prime deficitare — exploatabile economic, în ţările industrial dezvoltate, dar şi în ţări în curs de dezvoltare [2].

Într-un studiu întocmit de Ministerul Japonez al Comerţului Exterior şi al Industriei [3] sînt prevăzute următoarele date privind piaţa noilor materiale în anul 2000:

a_1) Piaţa noilor materiale va atinge *5 400 GY (21,6 mld. dolari)*, din care:

- Tehnopolimeri (inclusiv compozite) 27,8%
- Materiale ceramice superioare 35,2%
- Noi materiale metalice (amorfe ş.a. inclusiv compozite) 27,8%

a_2) Piaţa materialelor actuale adaptate utilizării în produse noi va atinge: *4 800 GY (19,2 mld dolari)*, din care:

- Tehnopolimeri 10,4%
- Materiale ceramice 39,6%
- Noi metale . . . . . 48 %.

— Total piaţă materiale noi şi adaptate (a_1+a_2): *10 200 GY (40,8 mld. dolari).*

b) Piaţa intermediarilor folosiţi la noile produse: *11 200 GY (44,8 mld. dolari).*

c) Piaţa produselor la care se utilizează noi materiale: *41600 GY (166,4 mld. dolari).*

— Total piaţă produse la care se utilizează noi materiale şi intermediari (b+c), *52 800 GY (211,2 mld. dolari).*

— Total piaţă a noilor materiale (a_1+a_2+b+c): *63 000 GY (252 mld. dolari).*

Scanned with OKEN Scanner

Analizînd datele prezentate rezultă următoarele:

1) Prin raportarea valorilor prognozate pentru piața anilor 2000 la piața prezentă (1981) rezultă o rată valorică relativă de pătrundere pe piață a noilor materiale, de:
   — 10 ori pentru tehnopolimeri și compozite;
   — 19 ori pentru materiale ceramice superioare;
   — 38 ori pentru noi metale (amorfe, ș.a., inclusiv compozite), respectiv de peste 20 ori pentru totalul noilor materiale.
2) Piața produselor intermediare are o desfacere preconizată ce depășește piața noilor materiale de 2,06 ori, iar piața totală a produselor pe baza noilor materiale și a intermediarilor depășește piața noilor materiale de 9,8 ori.
3) În valorile prognozate nu au fost incluse cheltuielile de cercetare-dezvoltare și echipamentele destinate fabricării noilor produse și a noilor materiale, valorile pieței totale trebuind să fie majorate corespunzător.

Susținerea acestor valori prognozate este bazată în bună parte pe succesele obținute pînă în prezent în cercetările susținute de Ministerul pentru Comerț Exterior și Industrie din Japonia, lansate anterior, pentru direcția „Producerea de materiale noi". Principalele programe de cercetare, numărul firmelor participante, durata cercetărilor și fondurile alocate sînt prezentate în fig. 11.1 [4], iar rata de penetrație a noilor materiale în fig. 11.2.

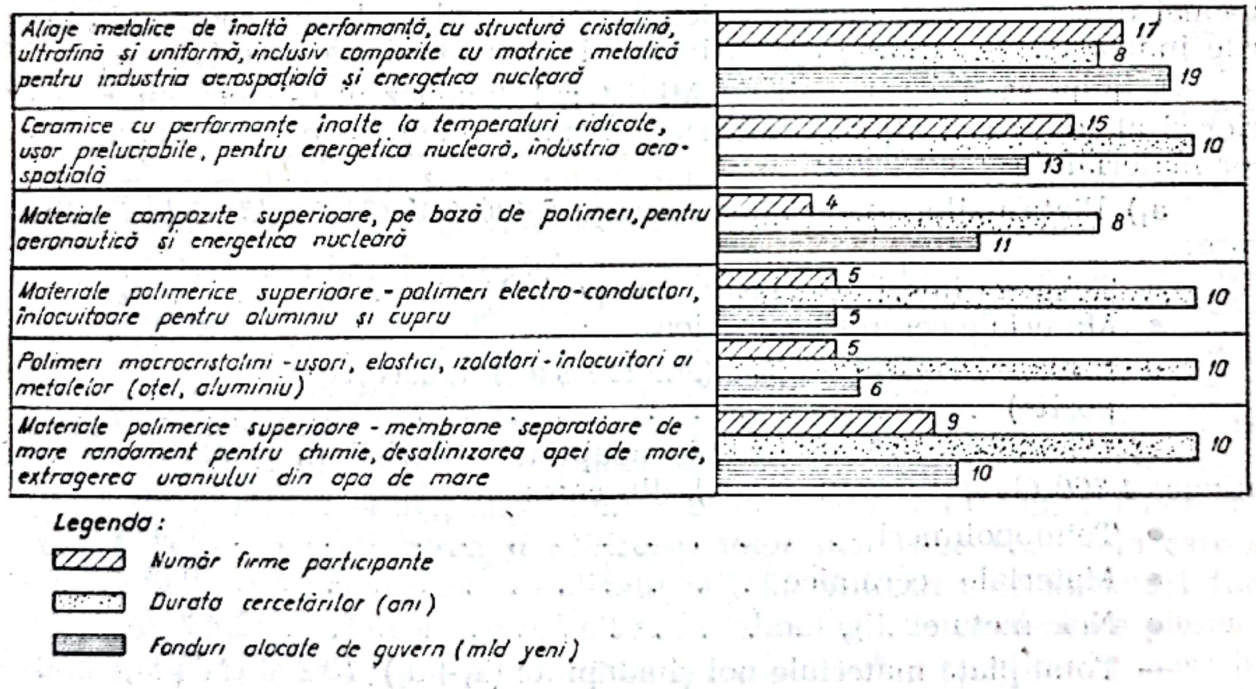


Fig. 11.1. Programe de cercetare-dezvoltare ale Japoniei pentru noi materiale la nivelul anului 2000 [4].

Fondurile alocate în Japonia pentru activitatea de cercetare în toate domeniile au crescut din anul 1971 într-un ritm mai rapid decît în celelalte țări puternic industrializate, astfel încît în anul 1982 cheltuielile totale le agalau pe cele ale Franței și R.F.G. (31 mld. dolari) rămînînd totuși în urma celor ale S.U.A. (81 mld. dolari) [5].

În ceea ce privește modul în care se orientează industria Japoneză, conform opiniei Federației Japoneze a Fierului și Oțelului [6]: „Industria

Scanned with OKEN Scanner

oțelului este restructurată în mod activ pentru a rezista restricțiilor impuse asupra exportului și concurenței pe care o întîmpină din partea producătorilor mici, iar în viitorii 10—15 ani întreprinderile Japoneze producătoare de oțel vor fi *mai diversificate și mai internaționale.*

Tendințe de restructurare a producției de oțel au început să apară la unele firme Japoneze chiar în prezent, ca de exemplu Kawasaki, care

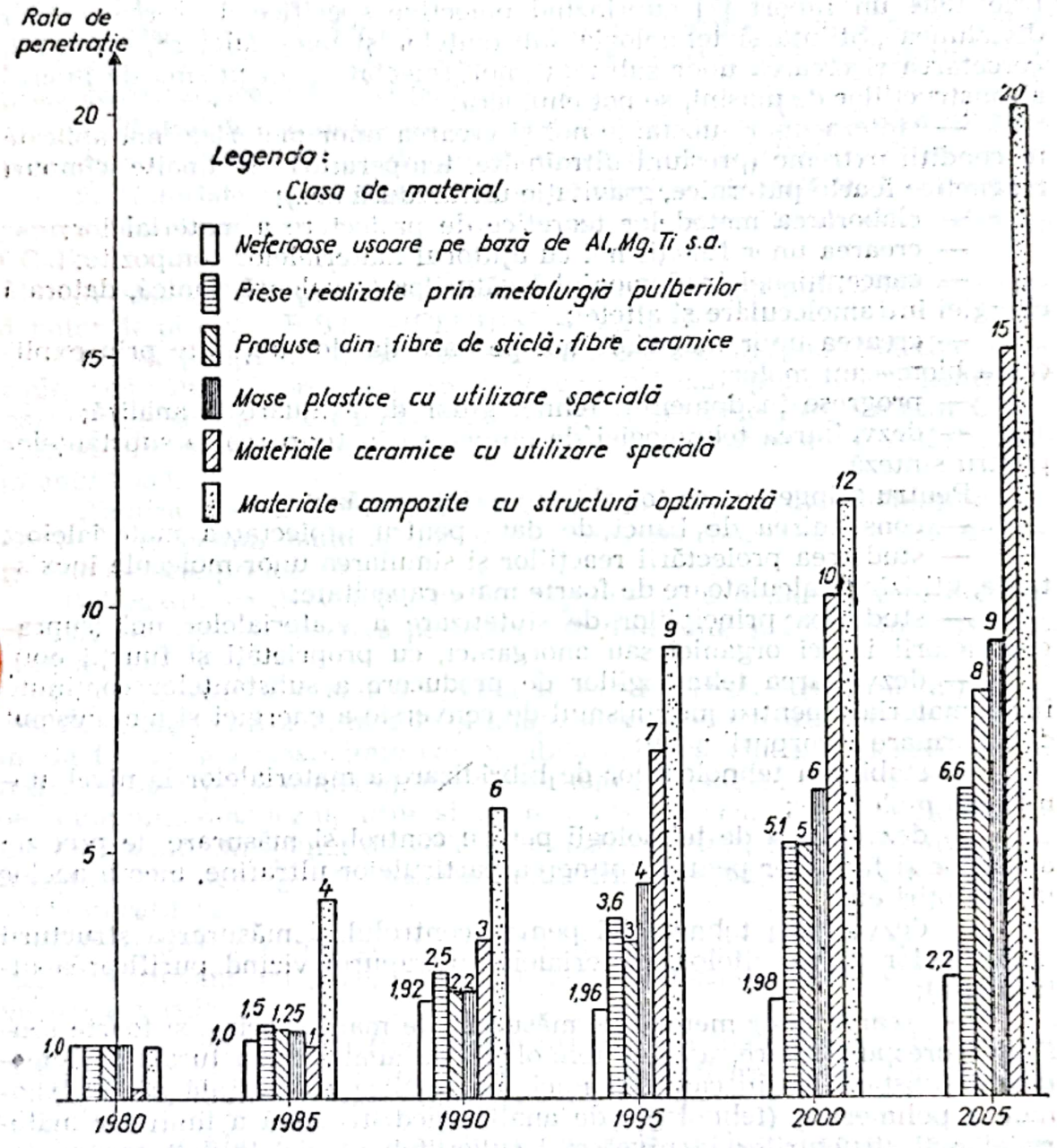


Fig. 11.2. Rata de penetrație (dinamica relativă de consum) a unor clase de materiale avute în vedere la prognoza „Noi materiale și înlocuitori ai materialelor scumpe și deficitare pentru construcția de mașini" [1].

are structurată desfacerea produselor sale astfel: 85% produse siderurgice, 4% produse chimice și 11% consulting (servicii de inginerie). Pînă în anul 2000, firma estimează că produsele siderurgice vor reprezenta numai 60% din vînzările nete, restul de 40% fiind susținut de sectoarele sale specializate în producerea de fibre de carbon, ceramică de înaltă

Scanned with OKEN Scanner

performanță, sisteme informatice și consulting. Producătorii Japonezi investesc de asemenea în instalații (oțelării) în alte țări în speranța că vor „putea genera o piață a oțelului în dezvoltare" și chiar dacă proiectează o scădere în producția de oțel — de la 80% la 60% din vînzările nete — speră la o dublare a veniturilor pînă la sfîrșitul secolului.

În ceea ce privește perspectiva îndelungată cu orizont secolul 21, Consiliul pentru Știință și Tehnologie din Japonia a prezentat în noiembrie 1984 un raport [7] cuprinzînd obiective specifice de cercetare. La diviziunea „Știința și tehnologia substanțelor și materialelor", cap. 11.2, cercetarea și crearea unor substanțe noi, selectate prin prisma de interes a construcțiilor de mașini, se pot enumera:

— sinteza unor substanțe noi și crearea unor materiale noi aplicate în condiții extreme (presiuni ultraînalte, temperaturi ultraînalte, cîmpuri magnetice foarte puternice, gravitație ultraredusă etc.);

— elaborarea metodelor teoretice de proiectare a materialelor;

— crearea unor funcții noi cu ajutorul materialelor compozite;

— concepții noi în domeniul legăturilor (covalentă, ionică, datorată energiei intramoleculare și altele);

— crearea unor materiale noi pe baza datelor obținute prin explicarea biomecanismelor;

— progrese în domeniul tehnologiilor de evaluare și analiză;

— dezvoltarea tehnologiei de observare în timp real a substanțelor pentru sinteză.

Pentru atingerea acestor obiective sînt prevăzute:

— constituirea de bănci de date pentru proiectarea materialelor;

— studierea proiectării reacțiilor și simularea unor molecule inexistente, utilizînd calculatoare de foarte mare capacitate;

— studierea principiilor de sintetizare a materialelor noi (supraconductorii ionici organici sau anorganici, cu proprietăți și funcții noi);

— dezvoltarea tehnologiilor de producere a substanțelor conținute în biomateriale pentru mecanismul de conversie a energiei și mecanismul de informare a corpurilor vii;

— stabilirea tehnologiilor de hibridizare a materialelor la nivel atomic sau molecular;

— dezvoltarea de tehnologii pentru control și măsurare de precizie a fazelor și formelor pentru obținerea particulelor ultrafine, membranelor ultrasubțiri etc.;

— dezvoltarea tehnologiei pentru controlul și măsurarea structurii materialelor (compozitelor, materialelor ultrapure) vizînd purificarea ultraînaltă);

— crearea unor metode de măsurare de mare precizie și foarte sensibile corespunzătoare, a unor tehnologii de analiză structurală și detectare a substanțelor în cantități mici, ex. analiza structurală tridimensională a polimerilor (tehnologia de analiză nedistructivă a limitelor materialelor și structurilor la nivel molecular, tehnologia de detectare a defectelor foarte fine și altele).

3. Tendințe și direcții de perspectivă în R. S. România

Direcțiile prioritare ale progresului tehnico-științific pînă în anii 2010—2020 în domeniul noilor materiale pentru construcțiile de mașini din R. S. România sînt impuse de asigurarea condițiilor funcționale, de

Scanned with OKEN Scanner

calitate și competitivitate, cerute prioritar de domeniile de vîrf ca: energetica nucleară, construcțiile aeronautice și aerospațiale, forajul la mari adîncimi — terestru și marin ș.a. pentru care trebuie furnizate echipamente. De asemenea, materialele noi, în deosebi cele înlocuitoare ale materialelor scumpe și deficitare își vor aduce un aport substanțial în domenii cum sînt mijloacele de transport terestru, aero și naval, energetica clasică, utilajul tehnologic chimic, alimentar, metalurgic, pentru construcții ș.a.

În perspectiva pe termen scurt și mediu sînt prevăzute a se dezvolta programe la nivel național care să focalizeze eforturile de cercetare științifică pentru aplicații de vîrf pe direcții cum sînt:

1) **Materiale ceramice** — cercetări abordate în MICM pentru motoare termice, coordonator de program R.S.R.—ICECHIM—IAMN.

2) **Materiale compozite** — cercetări abordate în MICM, în principal pentru industria aeronautică, coordonator program R.S.R.—ICECHIM—CCMP.

3) **Materiale și produse realizate prin metalurgia pulberilor** — coordonator de program R.S.R.—ICECHIM—IAMN ș.a.

Aceste programe, întocmite sub conducerea CNȘT, au obiective multiple, complexe și prevăd crearea de condiții corespunzătoare pentru o participare activă și eficientă a R.S.R. la problemele Programului Complex al Progresului Tehnico-Științific al țărilor membre ale C.A.E.R. pînă în anul 2000.

Analiza realizărilor actuale și a tendințelor pentru următoarele decenii, în domeniul materialelor noi și înlocuitorilor, evidențiază următoarele aspecte principale:

I) Necesitatea dezvoltării unor programe de cercetare (fundamentală și aplicativă) în perspectiva pe termen mediu, lung și foarte lung pentru realizarea de:

1) *Noi materiale metalice,* cum sînt oțelurile cu structură ultrafină, metale și aliaje amorfe, metale și aliaje supraconductoare, metale cu memoria formei (cu elasticitate comparabilă cu a cauciucului și revenire la forma inițială prin încălzire), metale cu ioni implantați, noi aliaje pe bază de aluminiu, magneziu, litiu și titan, materiale care au proprietăți cu totul deosebite din punct de vedere mecanic, electric, chimic, termic, pentru utilizări în energetica nucleară, industria aerospațială, electronică, telecomunicații ș.a.

2) *Materiale ceramice funcționale* pentru motoare termice, centrale nucleare, turbine cu gaze, ca substrat de semiconductoare, componente electronice, rulmenți ș.a.

3) *Materiale plastice funcționale* utilizate ca materiale pentru structuri ușoare, electroizolante ca membrane separatoare, pentru energetică, industria alimentară, optică, industria chimică ș.a.;

4) *Materiale compozite* cu fibre de sticlă, carbon, bor, aramidice — pentru matrice din materiale plastice și fibre carbură de siliciu, wolfram, bor pe suport wolfram etc. pentru matrice metalică sau ceramică; cu proprietăți deosebite termice, mecanice, chimice și utilizări în industria mijloacelor de transport terestru, aerospațială, navală ș.a.

II) Principalele obiective ale cercetării științifice și dezvoltării tehnologice pe termen scurt sau mediu în țara noastră prevăd realizarea de:

— *noi oțeluri nealiate și slab aliate laminate* (bifazice microaliate etc.) cu caracteristici superioare — echivalente oțelurilor aliate din pre-

Scanned with OKEN Scanner

zent; *oțeluri aliate economice* cu proprietăți superioare mecanice, termice, electrice, magnetice pentru utilaj petrolier, minier, echipamente energetice, autoturisme, autovehicule, nave, vagoane, utilaj agricol, de construcții ș.a.;

— piese turnate cu pereți subțiri din noi tipuri de *fonte cu grafit nodular, slab aliate și aliate*, cu performanțe superioare pentru utilaj petrolier, minier, autovehicule, mașini de ridicat, utilaj pentru construcții și altele;

— piese din *pulberi sinterizate de materiale metalice feroase, neferoase, inclusiv neferoase pure sau metale nobile*, extradure, rezistente la uzură (fricțiune sau antifricțiune) și coroziune, de dimensiuni mai mari și configurații mai complicate pentru utilaj petrolier, minier, autovehicule, autoturisme, aeronautică, mașini de ridicat, respectiv cu proprietăți mecanice sau electrice speciale pentru realizarea de scule în tehnologiile de metalizare termică, prelucrări neconvenționale sau contacte electrice în electrotehnică;

— piese din *superaliaje* și *noi aliaje neferoase ușoare* pentru motoare termice respectiv autovehicule, aeronautică, motoare termice, vagoane;

— componente din *elemente rare* (ceriu, lantaniu, paladiu, neodim, indiu, galiu) pentru construcții de mașini, electrotehnică, electronică;

— noi tipuri de *sticle tehnice* și *fibre de sticlă*, cu performanțe superioare pentru optică laser, aeronautică, telecomunicații, electrotehnică;

— noi tipuri de piese din *rocă topită, sinterizată, inclusiv fibre și lianți* pentru utilaje de prelucrări neconvenționale, utilaj petrolier, pompe de proces;

— materiale *ceramice energoizolante (termoizolante, fonoizolante, electroizolante), fibre ceramice, grafit turnat și sinterizat, cristale sintetice* (rubine) *oxizi de aluminiu, zirconiu, nitrură de siliciu* și altele, pentru utilaje pentru prelucrările la cald, autovehicule, aeronautică, nave, mașini electrice; duze pentru instalații de vopsire, sape de foraj; piese pentru motoare termice, utilaj alimentar, electrotehnică etc.

— piese de tipuri noi din *poliolefine, polimeri vinilici, polimeri* și *copolimeri stirenici, polieteri, poliesteri, poliamide, poliacetali, poliuretani* sau alte materiale plastice *inclusiv armate cu fibre* de sticlă, carbon, cu proprietăți cel puțin echivalente acestora, pentru autoturisme, utilaj pentru construcții, petrolier, aeronautică, construcții navale, vagoane, electrotehnică etc.;

— piese din *elastomeri stirenici, nitrilici, cloroprenici, halogenați, cauciucuri acrilice, poliuretanice, siliconice* ș.a. pentru utilaj petrolier, minier, de construcții, vagoane, nave și aeronave, autovehicule, utilaj alimentar, electrotehnică etc.;

— noi tipuri de materiale pe bază de *fibre lemnoase sau celulozice, fibre naturale sau sintetice*, compactate sau țesute, ignifugate pentru construcții navale, aeronautică, vagoane, autoturisme etc.;

— noi tipuri de *materiale stratificate*, table placate sau acoperite ornamental, anticoroziv, antifricțiune pentru autoturisme, autovehicule, nave, aeronave, utilaj alimentar etc.;

— noi tipuri de *materiale tehnologice și agenți pentru construcția de mașini*, gaze pure industriale pentru prelucrări cu laser, lichide pentru pregătirea suprafețelor, adezivi, paste și masticuri pentru îmbinări și etanșări; lacuri, pulberi, lichide de frînă, uleiuri etc., asimilate în țara

Scanned with OKEN Scanner

noastră, cu caracteristici la nivel mondial, pentru utilizare generală, inclusiv în tehnologiile din industria electrotehnică și electronică.

III) *Metalele convenționale, mai ales fonta și oțelul, vor continua să aibă ponderea cea mai mare și în următoarele decenii,* ca materiale de bază în construcția de mașini; în prezent proporția acestora se ridică la 90% din totalul consumurilor. Structura sortimentală nu este de așteptat să se modifice radical în viitorul imediat, deși vor interveni schimbări pe linia reducerii consumurilor unor categorii de oțeluri carbon cu caracteristici modeste sau oțeluri aliate și neferoase pe bază de elemente deficitare, pentru care se prevăd găsirea unor soluții înlocuitoare.

Proporția aliajelor ușoare, pe bază de aluminiu, magneziu ș.a., în consumul de materiale va crește, mai activ în prima perioadă. În paralel va marca o creștere progresivă ponderea *materialelor noi,* ușoare, rezistente și fiabile ca: materialele compozite, ceramice, structuri alveolare (fagure) precum și *înlocuitori* din materiale plastice cu caracteristici speciale, metalo-ceramice ș.a.

4. Concluzii [8]

Dacă, pînă cu puțini ani în urmă, materialele erau considerate ca o „dată de intrare" asupra căreia nu se acționa în mod deosebit, construcția de mașini trebuind să le aleagă, prelucreze și utilizeze în mod adecvat, în prezent și în perspectivă se pune prioritar problema cum să crească aportul construcției de mașini la asigurarea bazei de materii prime. De aceea, preocupările privind reducerea consumurilor materiale și utilizarea rațională a materialelor vor ocupa o pondere sporită în ansamblul problemelor de concepție pe piața mondială. „Utilizarea rațională a materialelor" va fi deci direct subordonată nu numai alegerii corecte a acestora, ținînd cont de funcția sau combinația de funcții cerute, cît și conceperii formelor, pe baza unor criterii riguroase de calcul și proiectare constructivă. La toate acestea trebuie să se aibă în vedere nivelul real al solicitărilor (noi metode de calcul și proiectare constructivă — corelate cu metode experimentale, proiectarea asistată de calculator permițînd analiza rapidă și sigură a mai multor variante, optimizarea soluțiilor etc.), în strînsă corelare cu tehnologiile de realizare și condițiile de utilizare a pieselor și produselor. De fapt unitatea piesă (produs) — material — tehnologie de realizare a piesei, a devenit inseparabilă de mult, iar în perspectivă se prefigurează a fi tot mai strînsă, tehnologiile noi permițînd sau completînd adesea realizarea de noi materiale în piese cu funcții noi și reciproc.

Contribuția, însemnată, la economisirea materialelor pe care o vor aduce *tehnologiile avansate,* cum ar fi cele din clasa celor *„de precizie"* (turnare și matrițare de precizie, sintermatrițare, metalurgia pulberilor, extrudare la cald și rece) sau cele *„neconvenționale"* (electroeroziune, electrochimie, tehnica laser, fasciculul de electroni ș.a.), tehnologii *„de finisare"* (rectificări, acoperiri metalice și nemetalice), *„combinate"* (ștanțare cu prelucrare laser) sau *de recondiționare,* vor conduce la reducerea drastică și chiar la eliminarea pierderilor tehnologice prin diminuarea ponderii materialelor bogate în elemente deficitare.

Scanned with OKEN Scanner

Dependente de evoluția noilor materiale și a tehnologiilor acestora vor fi de altfel și *utilajele* vizate în perspectivă să permită practicarea *tehnologiilor* (utilaje pentru prelucrări neconvenționale, mașini unelte, utilaje pentru acoperiri și altele) realizînd în paralel creșterea competitivității proprii. Vor trebui dezvoltate *tehnici noi de analiză și control* pentru certificare și *aparatură specifică* ca de ex. aparatură holografică pentru materiale compozite, sonică pentru geometria structurilor alveolare, microscopie electronică și interferometrie optică pentru compozite și ceramică, microunde pentru materiale compozite, plastice, ceramice ș.a.

Abordarea și realizarea obiectivelor de cercetare-dezvoltare în construcția de mașini, în perspectiva avută în vedere, este legată de asemenea de cercetările și realizările *ramurilor furnizoare de materiale* respectiv metalurgia, chimia, materialele de construcții (inclusiv lemnul), industria ușoară etc. ca și *ramurile „fundamentale"* respectiv matematica, fizica, chimia, biologia, științele pămîntului și altele.

Această intercondiționare va cere în perspectivă o intensificare a cercetărilor complexe — interdisciplinare.

Multitudinea și complexitatea problemelor, volumul mare de concepție în domeniul noilor materiale pentru construcția de mașini, precum și reducerea decalajului actual în raport cu realizările pe plan mondial vor putea fi soluționate la un nivel înalt de eficiență și în termene utile, prin abordarea mai activă și intensificarea cooperării tehnico-științifice internaționale, atît cu țările dezvoltate industrial cît și îndeosebi cu țările socialiste, în special în subramurile de foarte înaltă tehnicitate ce permit realizarea unor produse de vîrf (aviație, motoare termice, tehnologii de fabricație ș.a. De asemenea se impune sprijinirea puternică a celorlalte subramuri în dezvoltarea de cercetări proprii și în cooperare cu țările socialiste — urmărind și realizarea de specializări în producție în paralel cu dezvoltarea unor programe interne pe termen mediu și lung privind transferul unor materiale noi de înaltă performanță din industria de vîrf. Toate aceste măsuri vizează creșterea eficienței și economicității fabricației, dirijarea acesteia spre subramuri specifice producției de serie, serie mică și unicat din construcția de mașini, în special pentru unele categorii de materiale compozite pe bază de fibre de sticlă și carbon și materiale stratificate și cu structură alveolară (tip fagure).

BIBLIOGRAFIE

1. Sinteza prognozei tehnico-științifice „Noi materiale și înlocuitori ai materialelor scumpe și deficitare pentru construcții de mașini" — orizont 2010—2020. București, ICCM, 1987.
2. * * * Prirodnye resursy i okruzajuscaia sreda (U.R.S.S.), nr. 11, 1984, pg. 126—127.
3. * * * În: L'industrie Ceramique, Franța, nr. 793, aprilie 1985, pg. 218—219.
4. * * * În: Himiceskaia promîșlennost za rubejom (U.R.S.S.), nr. 3 1984, pg. 2—3.
5. * * * L'Observateur de l'OCDE (Franța), nr. 127, mar. 1984, pg. 14.
6. * * * În: Steel times International (Suedia), vol. 10, nr. 4, dec. 1986, pag. 4.
7. * * * În: Technocrat (Japonia', 18, nr. 5, mai 1985, pg. 23—24 și nr. 6, iun. 1985, pg. 25—27.
8. * * * În: Construcția de Mașini, nr. 2, febr. 1981, pg. 57—60.

Scanned with OKEN Scanner

12

Noi sortimente de lubrifianți pentru industrie

Ing. *Victor Năsui*
Centrala Industrială Siderurgică Galați

În domeniul unsorilor lubrifiante s-au făcut puține încercări de a se lărgi baza de materii prime din care acestea se pot fabrica. În general, unsorile consistente se obțin exclusiv din săpunuri metalice dispersate în uleiuri minerale, care sînt produse petroliere, iar săpunurile metalice au la bază grăsimi animale. Ambele faze reprezintă materii prime deficitare. Dar se pot obține compoziții lubrifiante cu proprietăți identice și din alte produse. În cele ce urmează, vom descrie un procedeu de obținere a unsorilor lubrifiante care a condus pînă în prezent la două brevete de invenții, alte rețete fiind în curs de brevetare.

Se știe că săpunurile metalice nu pot fi dispersate perfect în uleiurile minerale; de aceea unsorile care se prepară în acest fel au diferite grade de neomogenitate, în funcție de săpunul metalic folosit. Procedeul este folosit în mod curent la fabricarea unsorilor consistente uzuale. Unsorile de sodiu, spre exemplu, au o structură de-a dreptul fibroasă. Eliminarea acestui dezavantaj se poate face prin înlocuirea săpunurilor metalice cu polimeri. Lubrifianții obținuți astfel au o structură bine reticulată și omogenă, se pretează la ungerea unor mecanisme fine și aparatură AMC și la lubrifierea unor angrenaje deschise în industrie. Mai prezintă avantajul că, în condițiile de lucru ale unor utilaje, nu separă faza dispersă, cum se întîmplă cu unsorile preparate pe bază de săpunuri metalice, la care, în anumite împrejurări, se produce separarea săpunului sub formă de cocoloașe, ce nu prezintă proprietăți de ungere și înfundă traseele utilajelor. Prin cercetări de laborator s-a realizat dispersarea polietilenei (măcinată fin, sub formă de pulbere) în uleiuri minerale, la anumite temperaturi, în funcție de uleiul folosit. Dispersarea s-a produs complet, amestecul formînd, prin răcire, o unsoare aproape 100% omogenă, care mai prezintă avantajul de a nu separa faza dispersată, cum este cazul la unsorile obișnuite. Prin adăugarea la cele două faze și a unor aditivi, care să le confere proprietăți superioare, se pot obține diverse tipuri de unsori lubrifiante.

Unsoare lubrifiantă pentru aparate și mecanisme fine (invenția nr. 86330/30.03.1985; titular: Centrala Industrială de Rafinării și Petrochimie Ploiești). Folosirea, pentru ungerea aparatelor și a mecanismelor fine, a unor săpunuri metalice, în special de litiu, prezintă dezavantajul că este neeconomică și nu poate asigura ungerea pentru un timp îndelungat.

Unsoarea lubrifiantă care face obiectul invenției menționate înlătură aceste dezavantaje. Ea este constituită din 87%, în greutate, ulei de

Scanned with OKEN Scanner

vaselină tehnică, 7% polietilenă, 5% dialchilditiofosfat de zinc și 1% în greutate colofoniu. Se poate prepara astfel: într-un recipient metalic emailat, de cca 10 ... 20 kg capacitate, se adaugă 8,7 l ulei de vaselină tehnic și se încălzește pe o plită pînă la temperatura de 120 ... 130°C; se adaugă apoi, agitînd, 700 g praf fin măcinat de polietilenă, pînă la completa dispersare în ulei, după care se adaugă 100 g praf de colofoniu; conținutul recipientului se răcește, amestecînd pînă la 60°C și se adaugă, în continuare, 0,5 l dialchilditiofosfat de zinc; amestecul se lasă să se răcească la temperatura mediului ambiant.

Se obține o unsoare cu următoarele caracteristici de bază: aspect filant — onctuos; culoare — galben-portocaliu; punct de picurare +94°C; penetrație 310 ... 325 mm/10; cenușă 0,01%; alcalii libere — lipsă; impurități mecanice — lipsă; apă — lipsă; impermeabilă la apă. Unsoarea asigură ungerea timp îndelungat, chiar în medii umede și corosive, prezentînd totodată un cost relativ scăzut față de unsorile similare pentru mecanisme fine.

Unsoare pentru angrenaje deschise (invenția nr. 91272/25.08.1985). Rețeta a fost avizată pozitiv de institutul central de profil, ICITPR Ploiești, Ministerul Industriei Chimice, desemnînd ca titular Combinatul Petrochimic Teleajen. Prin aplicarea acestei invenții se obțin unsori pentru suprafețe metalice, nefiind necesară o etanșare deosebită și putînd fi folosite la angrenaje deschise.

În prezent, ungerea angrenajelor industriale se realizează cu uleiuri minerale. Acestea prezintă dezavantajul că, fiind produse lichide, se pierd prin neetanșeități, fiind necesară completarea ori înlocuirea lor, ceea ce duce la consumuri mari de lubrifianți, ungere necorespunzătoare, personal numeros necesar și alte neajunsuri. Unsoarea conform invenției înlătură aceste dezavantaje atît prin compoziția ei, cît și prin modul de preparare.

Se prezintă, în continuare, un exemplu de realizare a unei șarje de 100 kg unsoare. Într-o autoclavă, prevăzută cu manta de încălzire cu abur și agitator, se pune o cantitate de 85 kg ulei neparafinos, aditivat pentru extremă presiune, antioxidant, anticorosiv, antirugină și antispumant (de exemplu, uleiul pentru transmisii industriale TIN 55 EP) și se încălzește la 120 ... 130°C; se pornește agitarea, se adaugă încet 9 kg polietilenă sub formă de praf fin măcinat și apoi 1 kg colofoniu, pînă la completa dispersare în ulei. După aceasta se întrerupe încălzirea (dar nu și agitarea), lăsînd amestecul să se răcească pînă la 50 ... 60°C, cînd se mai adaugă 3 kg dialchilditiofosfat de zinc (aditiv antiuzură) și 2 kg ulei de ricin. Apoi se face o răcire forțată a amestecului, introducînd prin mantaua autoclavei apă rece.

Se obține, în final, o unsoare omogenă, cu aspect neted (onctuos), filantă și aptă pentru ungerea mecanismelor de transmisii industriale, a angrenajelor, reductoarelor sau transmisiilor melcate etc., cu următoarele caracteristici fizico-chimice: aspectul onctuos-omogen; punct de picurare, +10°C; penetrație, 300 zecimi de mm; cenușă — lipsă; alcalii libere, 0,02 mg KOH/litru; apă — lipsă; culoare maronie. Compoziția: 85%, în greutate, ulei mineral neparafinos, pentru extremă presiune, antioxidant, anticorosiv, antirugină și antispumant; 9%, polietilenă sub formă de praf fin măcinat; 1% colofoniu; 3% dialchilditiofosfat de zinc; 2% ulei de ricin.

Scanned with OKEN Scanner

Această unsoare prezintă următoarele avantaje: poate asigura lubrifierea unor angrenaje industriale, în condiții mai bune și mai economice decît uleiurile minerale; nu necesită condiții de etanșare a utilajelor, fiind aderentă la suprafețe metalice.

Avantajele cele mai mari se obțin la ungerea reductoarelor utilizate în siderurgie, unde condițiile de mediu (în special, temperaturile și presiunile ridicate, vibrațiile, contaminarea cu apă și praf) nu permit realizarea unei etanșări, iar acolo unde aceasta se face, este foarte costisitoare.

Lubrifianți de natură cocsochimică. În prezent, atît uleiurile lubrifiante cît și unsorile consistente se obțin din țiței, materie primă deficitară pe plan mondial. De aceea, asocierea unor proporții bine definite de componente rezultate ca subproduse cocsochimice, într-o compoziție care să prezinte caracteristicile fizico-chimice corespunzătoare ungerii anumitor utilaje, ar rezolva parțial problema materiilor prime.

În încercarea de a lărgi baza de materii prime din care se pot fabrica lubrifianți, s-au analizat subprodusele care rezultă secundar la fabricarea cocsului metalurgic, cum ar fi: smoala de cocserie, uleiul polimerizat, gudroanele de cărbune etc., și s-a constatat că, prin asocierea lor în anumite proporții, se pot obține lubrifianți, dacă nu superiori, atunci — cel puțin — similari cu cei proveniți din țiței. În vederea realizării acestor rețete s-au făcut nenumărate încercări în laboratoare. S-au încercat două probe de ulei cocsochimic (respectiv, uleiul tip 200 și uleiul tip 165), îngroșate cu smoală de cocserie tip B și săpun de aluminiu asociat cu sodiu, care au condus la obținerea a două tipuri de unsori, numite U1 și U2. Aceste unsori s-au testat pe aparatul care face obiectul brevetului de invenție nr. 84132/31.03.1983 și apoi pe o mașină de tip Amsler de la Catedra de organe de mașini a Universității din Galați. În unsorile încercate, presiunea hertziană a variat între 65 și 150 daN/mm² pentru alunecări relative de 7% și, respectiv, 13,5%. La unsorile următoare (U3 și U4), presiunea hertziană a fost între 44 și 90 daN/mm², cu alunecări de 10% și, respectiv, 30%.

Unsorile preparate cu uleiul tip 200 au avut cea mai bună comportare, deoarece, la o încărcare de 150 daN/mm², au prezentat un coeficient de frecare de 2 ori mai mic decît la uleiul tip 165. De asemenea, tendința de gripare a rămas nesesizată pînă la încărcarea menționată. Aceasta pune în evidență proprietățile de ungere corespunzătoare pentru aceste uleiuri, în vederea utilizării la ungerea angrenajelor greu încărcate. În ce privește unsorile cocsochimice încercate, acestea s-au comportat corespunzător. Valorile coeficientului de frecare obținut sînt comparabile cu valorile obținute pentru unsorile tip RUL 100 și RUL 165, încercate în laborator în aceleași condiții, în cadrul unor cercetări anterioare. În concluzie, uleiurile și unsorile cocsochimice au proprietăți lubrifiante, pelicula de ungere în condiții de rostogolire cu alunecarea pînă la 13,5% la uleiuri și 30% la unsori au o comportare comparabilă cu lubrifianții similari de natură petrolieră. Un certificat de bună calitate a fost eliberat pentru rețetele menționate și de către Institutul de Cercetări și Proiectări Tehnologice în Transporturi — laboratorul CLTP București, prin buletinul de examinare nr. 38 din 1983.

Compoziția lubrifiantă este constituită dintr-un amestec de 75% părți în greutate ulei polimerizat de cocserie, 21% smoală de cocserie și 4% dialchilditiofosfat de zinc, ca aditiv antioxidant. Se prepară în felul următor: într-un recipient metalic, prevăzut cu agitator și sistem de în-

Scanned with OKEN Scanner

călzire cu abur, se pune 75 kg ulei polimerizat rezultat din procesul tehnologic al fabricării cocsului metalurgic, la care se adaugă 21 kg smoală de cocserie mărunțită, așa cum rezultă din fabricație; apoi se încălzește sub agitare continuă pînă la 120 ... 130°C, timp de o oră, cînd smoala se dizolvă în ulei, după care se răcește recipientul, fără a întrerupe agitarea. Cînd amestecul s-a răcit la temperatura mediului ambiant, se ia o probă de omogenitate și, dacă aceasta s-a realizat, se mai adaugă 4 kg aditiv antioxidant, dialchilditiofosfat de zinc, continuînd omogenizarea. Se obține astfel o compoziție lubrifiantă cu următoarele caracteristici: densitate la 15°C, max. 1,18; punct de inflamare M, °C, min. 136; vîscozitate la 50° în °E, min. 5,88; vîscozitate la 100°C în °E; min. 2,15; cifra de cocs conradson, %, max. 24; culoare — neagră; cenușă, %, 2%. Invenția prezintă avantajul utilizării unor materiale rezultate în procesul de fabricație a cocsului metalurgic, în locul produselor similare obținute din țiței (rețeta a fost brevetată ca invenție).

Unsoarea cocsochimică (brevetată) este constituită din: 625 părți în greutate ulei de absorbție, 250 părți în greutate smoală de cocserie, 100 părți în greutate săpun de sodiu și 125 părți în greutate săpun de aluminiu.

Uleiul de absorbție este fracțiunea ce rezultă în proporție de 7,5 ... 9,5% la distilarea între 235 și 290°C a gudronului de cocserie. Are densitatea la 20°C de 1,073 g/cm² și o viscozitate de 1,59°E la 20°C și de 1,35°E la 50°C.

Smoala de cocserie rezultă în cantitate de 55 ... 60% ca reziduu la distilarea pînă la 360°C a gudronului de cocserie și are următoarele caracteristici principale: punct de înmuiere (inel și bilă) 74±2°C; insolubile în benzen, max. 25%; cenușă — max. 0,8%; umiditate — max. 4%.

Pentru obținerea acestei compoziții, se folosesc următoarele cantități de materiale: 625 g ulei de absorbție; 250 g smoală de cocserie; 100 g săpun de sodiu; 125 g săpun de aluminiu. Se dizolvă mai întîi, sub agitare și încălzire, săpunurile de sodiu și de aluminiu în uleiul de absorbție, după care se adaugă smoala de cocserie, topită în prealabil, și se continuă agitarea și încălzirea, pînă la completa omogenizare, după care se răcește amestecul omogenizat.

Caracteristicile fizico-chimice ale unsorii cocsochimice astfel obținută sînt: punct de picurare +87°C; penetrație la 25°C, 60 malaxări la zecimi de mm; 366; cenușă, 2,35%; clasa de consistență 0; ape, 0,5%; aciditate organică, 13,9 mg KOH/g; coroziune pe oțel, 3 h/100°C — rezistă; coroziune pe cupru, 3 h/100°C — rezistă; încercarea de rezistență la presiuni ridicate pe mașina cu 4 bile — diametrul petei de uzare la 30 kg/100 mm, 2,1; rezistența la apă, 5 h/20°C, nestabilă.

Deși unsoarea cocsochimică necesită un consum mare de KOH la determinarea acidității organice, este rezistentă la coroziune, atît pe lama de oțel, cît și pe lama de cupru (și această rețetă a fost brevetată ca invenție).

Avantajele acestei unsori sînt următoarele: înlocuirea uleiurilor de natură petrolieră cu produse chimice rezultate în uzinele cocsochimice la distilarea gudronului; unsoarea se comportă bine în exploatare pe utilaje mari.

Scanned with OKEN Scanner

13

Betonul — material utilizabil în construcția de mașini-unelte

Conf. dr. ing. *Constantin Ispas*
Institutul Politehnic București

Șef lucr. ing. *Mircea Balcu*
Institutul de Construcții București

Ing. *Gabriel Popoviciu*
I.A.T.S.A. Pitești

Ing. *Constantin Nedelcu*
M.I.Et.

1. Introducere

Ideea utilizării betonului în construcția elementelor portante ale mașinilor-unelte nu este dintre cele mai noi. Batiurile din beton au deja o istorie. Primele batiuri din beton cunoscute, au fost realizate în timpul primului război mondial. Atunci, apariția lor a fost trecătoare deoarece încercările preliminare au avut rezultate nesatisfăcătoare. Dar, cu mai bine de un deceniu în urmă, betonul a reapărut ca material pentru construcția batiurilor mașinilor-unelte. Astfel, în anul 1975, cu ocazia primei expoziții mondiale de mașini-unelte de la Paris au fost prezentate 10 mașini al căror batiu era din beton. De atunci, o serie de producători de mașini-unelte au studiat posibilitățile de utilizare a betonului pentru elementele de structură. Totuși, betonul are în prezent o utilizare restrînsă în construcția de mașini-unelte, în primul rînd datorită necunoașterii calităților sale de către cei care lucrează în acest domeniu. La aceasta se adaugă dificultățile de asamblare a elementelor constructive metalice (carcase, ghidaje, cremaliere etc.) pe suprafețe din beton, rezistența mai slabă a betonului la solicitări compuse, necesitatea unor utilaje și dispozitive specifice pentru pregătirea betonului etc.

2. Caracteristicile de bază ale betonului

Betonul este un material de construcție relativ ieftin ale cărui elemente componente, agregatul (pietriș) și liantul (ciment) au rezerve, practic inepuizabile pe globul pămîntesc, iar energia consumată pentru obținerea materiei prime și pentru producerea cimentului este incomparabil mai mică decît cea pentru elaborarea fontei. Turnarea betonului se execută la temperatura mediului ambiant de către muncitori cu o calificare mult inferioară celor din turnătorii. La executarea batiurilor din beton

Scanned with OKEN Scanner

pierderile tehnologice de materiale sînt practic nule, ceea ce permite atingerea unui grad de utilizare a materialelor de 100%.

Principalele caracteristici ale betonului sînt următoarele: densitatea — 2 400 kg/m³ (de 3,25 ori mai mică decît a fontei); rezistența la compresiune — 9...10 daN/mm² (fonta are 70 daN/mm²); rezistența la tracțiune — 70 daN/cm² (fonta are R_{mf}=2 000 daN/cm²); modulul de elasticitate — (3...4)10⁵ daN/cm² (fonta are E_f=1,05·10⁶ daN/cm²); inerția termică este de 40 ori mai mare decît la oțel; capacitatea de amortizare a vibrațiilor este de cinci ori mai mare decît la fontă; construcțiile din beton își pierd repede tensiunile interne; costul pentru o tonă de beton turnat este de o sută de ori mai mic decît pentru o tonă de fontă turnată.

Caracteristicile deficitare ale betonului pot fi îmbunătățite substanțial prin: alegerea corespunzătoare a rețetei de preparare; stabilirea unei structuri în concordanță cu starea tensiunilor; aplicarea unor tehnologii de descărcare a structurilor în zonele cu solicitări de întindere și forfecare etc.

3. Aplicațiile betonului în domeniul mașinilor-unelte

Utilizarea calităților betonului, concomitent cu îmbunătățirea caracteristicilor deficitare, preocupă în prezent multe centre de cercetare și firme producătoare de mașini-unelte din lume. În acest sens, cercetări aprofundate cu rezultate apreciabile sînt consemnate în Elveția, Japonia, R.F.G., R.D.G., Italia, U.R.S.S., Franța, țări în care au apărut și primele aplicații ale betonului în domeniu. Astăzi, practic, pentru toate tipurile de mașini-unelte există realizări ale unor elemente constructive din beton [6], [7], [9] etc. Cel mai des, din beton se execută batiul, dar în cazul strungurilor carusel grele și al mașinilor de rabotat longitudinal, există realizări similare pentru montanți, portaluri și traverse [8]. De asemenea, în literatură se menționează încercări de execuție din beton a suporților portsculă [9], a corpurilor cuțitelor de strung [7], a alimentatoarelor cu bare la strungurile automate (firma „Index“ din R.F.G.), a plăcilor de trasare și control (firma „Johann Fischer“ R.F.G.) etc.

De menționat, că firme de renume au utilizat betonul în execuția batiurilor unor tipodimensiuni ale mașinilor-unelte de înaltă precizie, aflate în fabricația lor. Este cazul firmelor „Georg Fischer AG“ (Elveția) și „Gebr. Boehringer“ (R.F.G.) pentru strunguri cu batiu înclinat, „Friedrich Deckel AG“ și „Burkhardt & Weber“ (R.F.G.), pentru centre de prelucrare, „Studer AG“ (Elveția) și „Toyoda Machine Tools Co“ (Japonia), pentru mașini de rectificat, „San Rocco Sp. A“ (Italia), pentru mașini orizontale de alezat și frezat etc.

Modelele mașinilor-unelte ale firmelor menționate au fost executate între anii 1975—1980, au fost verificate minuțios, rezultatele comparative dovedind viabilitatea soluției utilizării betonului în execuția elementelor portante ale mașinilor-unelte [3], [9], [10].

Astăzi există un număr important de soluții privind construcția batiurilor (fig. 13.1, 13.2, 13.3), sînt stabilite mijloace de protecție a be-

Scanned with OKEN Scanner

tonului împotriva agenților chimici, a emulsiilor de răcire, a uleiurilor minerale etc. În acest scop se folosesc lacuri speciale sau se adoptă rețete adecvate de preparare a betonului [6], [11], [12].

De asemenea, au fost rezolvate multe dintre problemele legate de realizarea asamblărilor necesare funcționării mașinilor-unelte. Cele mai importante dintre acestea sînt prezentate în fig. 13.4.

Comparativ cu materialul tradițional al elementelor portante ale mașinilor-unelte — fonta, betonul se impune prin: posibilitatea reali-

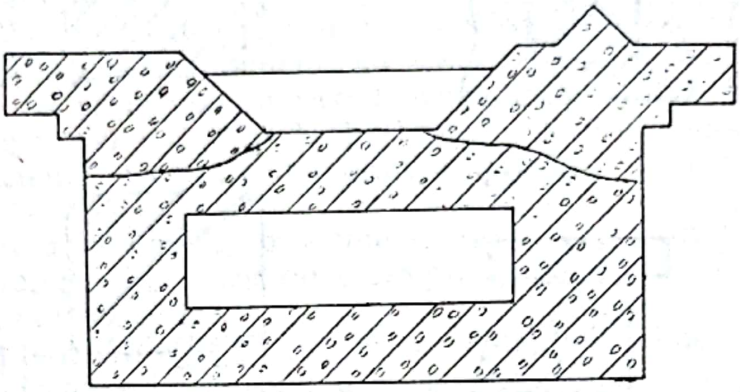


Fig. 13.1.

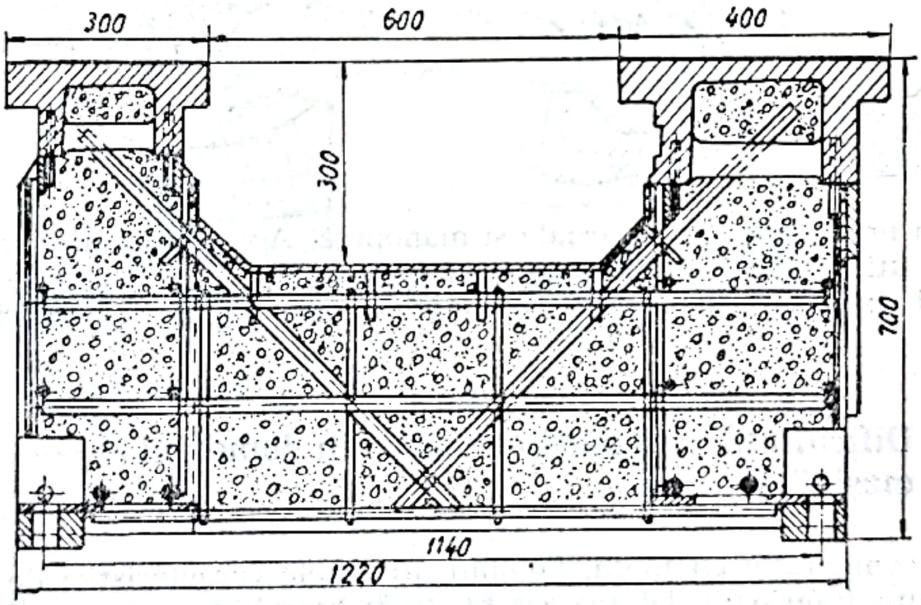


Fig. 13.2.

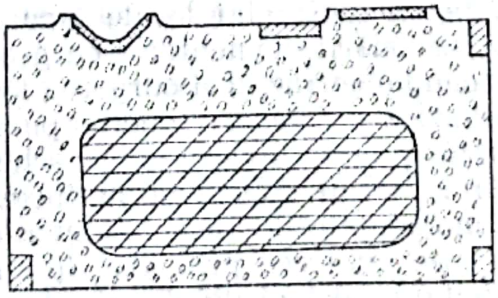


Fig. 13.3.

Scanned with OKEN Scanner

zării unor structuri cu rigiditate sporită (aria și momentele de inerție ale secțiunilor pline din beton sînt mult mai mari decît ale secțiunilor nervurate din fontă), reducerea considerabilă a duratei de execuție (de 8—10 ori), comportamentul termic excelent, capacitatea de amortizare a vibrațiilor net superioară, tehnologia de execuție mult mai simplă și

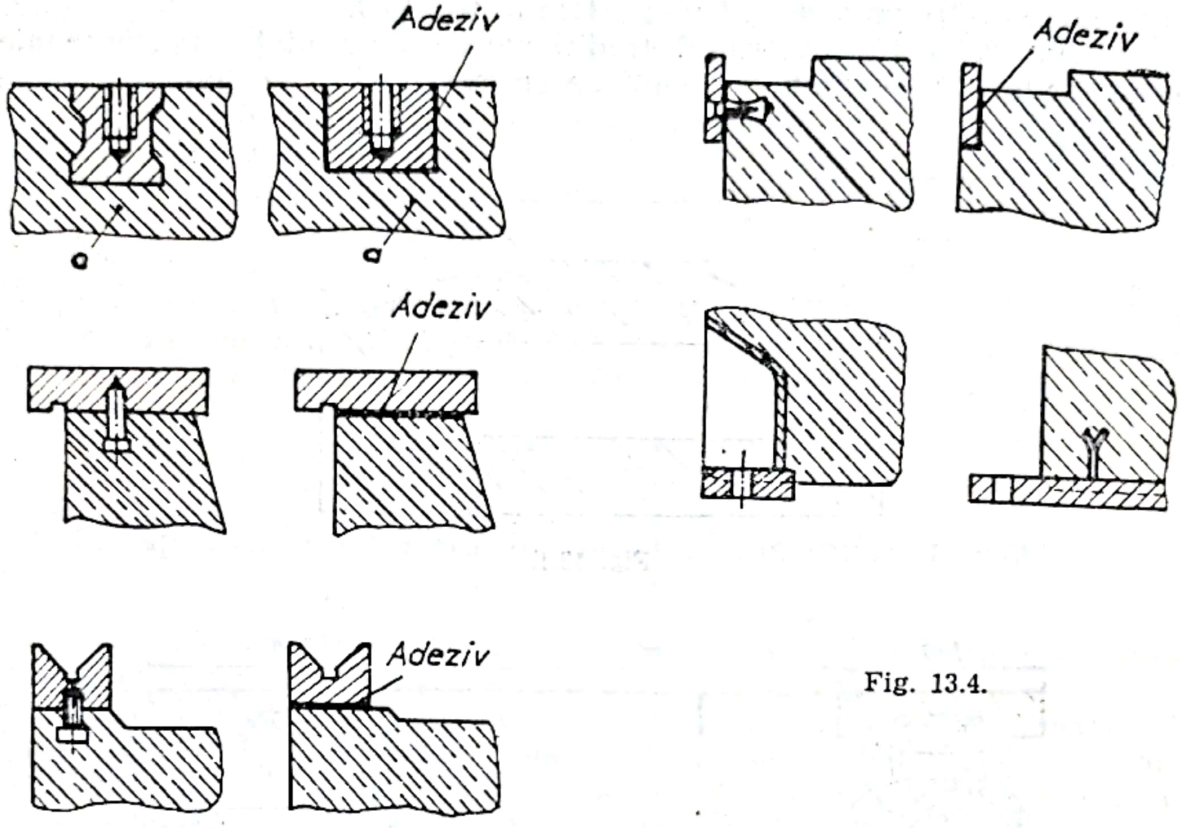


Fig. 13.4.

economii importante la materiale și manoperă. Aceste calități devin avantaje ale utilizării betonului numai în măsura în care, în fazele de concepție și execuție se reușește ameliorarea caracteristicilor deficitare ale acestuia.

4. Dificultățile utilizării betonului în domeniul mașinilor-unelte

În comparație cu fonta, betonul are unele caracteristici de bază cu valori mult inferioare. Dintre acestea, cele care impun precauții speciale în utilizare sînt: rezistența la întindere (de 30 ori mai mică decît la fontă), rezistența la răsucire (chiar dacă nici fonta nu excelează), comportarea elementelor din beton la sarcini locale (apare pericolul despicării zonelor de reazem și poansonării elementelor cu grosime redusă) și fenomenele reologice în betoane (contracția și curgerea lentă).

Solicitarea la întindere axială și răsucire pură a elementelor portante ale mașinilor-unelte practic nu există. În schimb, eforturile de întindere apar inevitabil în cazul solicitării la încovoiere a acestor elemente. De asemenea, momentele de răsucire apar ca urmare a acțiunii unor forțe a căror direcție nu trece prin axa de simetrie a elementului constructiv. Deci, solicitarea de răsucire este însoțită întotdeauna de solicitarea la încovoiere.

Scanned with OKEN Scanner

Avînd în vedere că în aceeași secțiune se dezvoltă și eforturi de compresiune, comportarea betonului la solicitarea de întindere și răsucire prin încovoiere este mult ameliorată.

Se desprinde concluzia că secțiunile elementelor constructive din beton trebuie dimensionate astfel încît, în comparație cu cele din fontă, să corespundă din punctul de vedere al rigidităților la încovoiere și răsucire, adică al produselor $EI_{x,y}$ și GI_p. Acest dezavantaj devine avantaj dacă se are în vedere că în locul unor nervuri atehnologice din fontă, secțiunea din beton se prevede plină.

De subliniat că, în urma preocupărilor constante, orientate în acest sens, în domeniul mașinilor-unelte au fost stabilite rețete de preparare ale betoanelor cu rășini polimerice la care rezistența la întindere din încovoiere atinge 350 daN/cm² [11]. Evident, această valoare este încă mică, dar suficientă pentru a îndeplini condițiile multor aplicații practice.

În utilizarea betonului, probeme deosebite apar în cazul aplicării *sarcinilor locale*. Dar, în faza de concepție a elementelor constructive, sarcinile locale pot fi evitate.

Starea de tensiuni într-un element de beton cu lățime finită, solicitat la compresiune locală este prezentată în fig. 13.5, *a* [1].

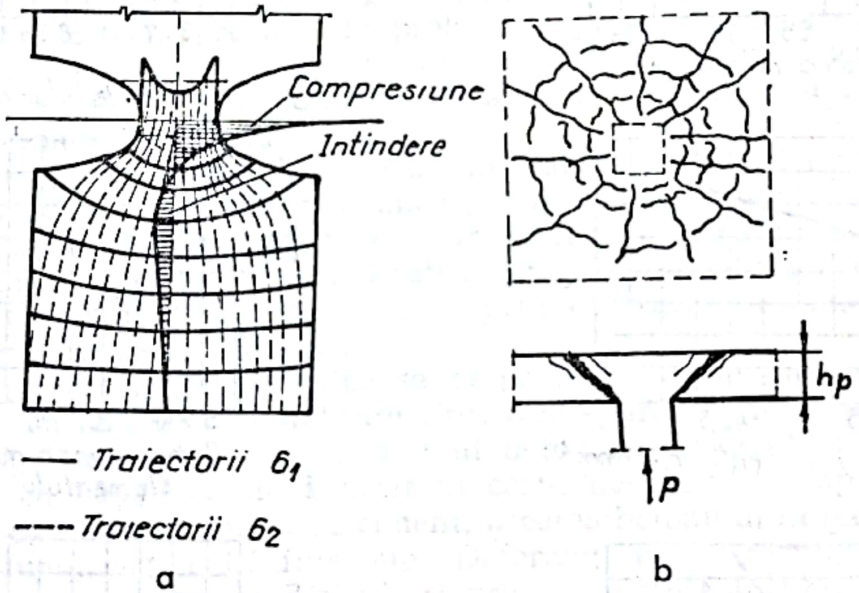


Fig. 13.5.

Distribuția tensiunilor evidențiază repartiția neuniformă a presiunilor pe suprafața de încărcare, prezența unor tensiuni orizontale de compresiune în vecinătatea suprafeței de încărcare și tensiuni de întindere în rest. Prezența tensiunilor de întindere sub sarcini locale determină apariția fisurilor verticale în beton, înainte ca strivirea sub efectul presiunilor locale să poată avea loc, iar elementul constructiv cedează prin *despicare*. Dispunerea unor armături în element, capabile să preia tensiunile de întindere normale pe direcția încărcării locale, sub formă de plase (legate sau sudate) ori sub formă de fretă, îmbunătățește considerabil comportarea elementului din beton, sporindu-i capacitatea portantă.

Poansonarea (străpungerea) elementelor cu grosime redusă se produce prin apariția unor fisuri înclinate în beton (aproximativ la 45°) și

Scanned with OKEN Scanner

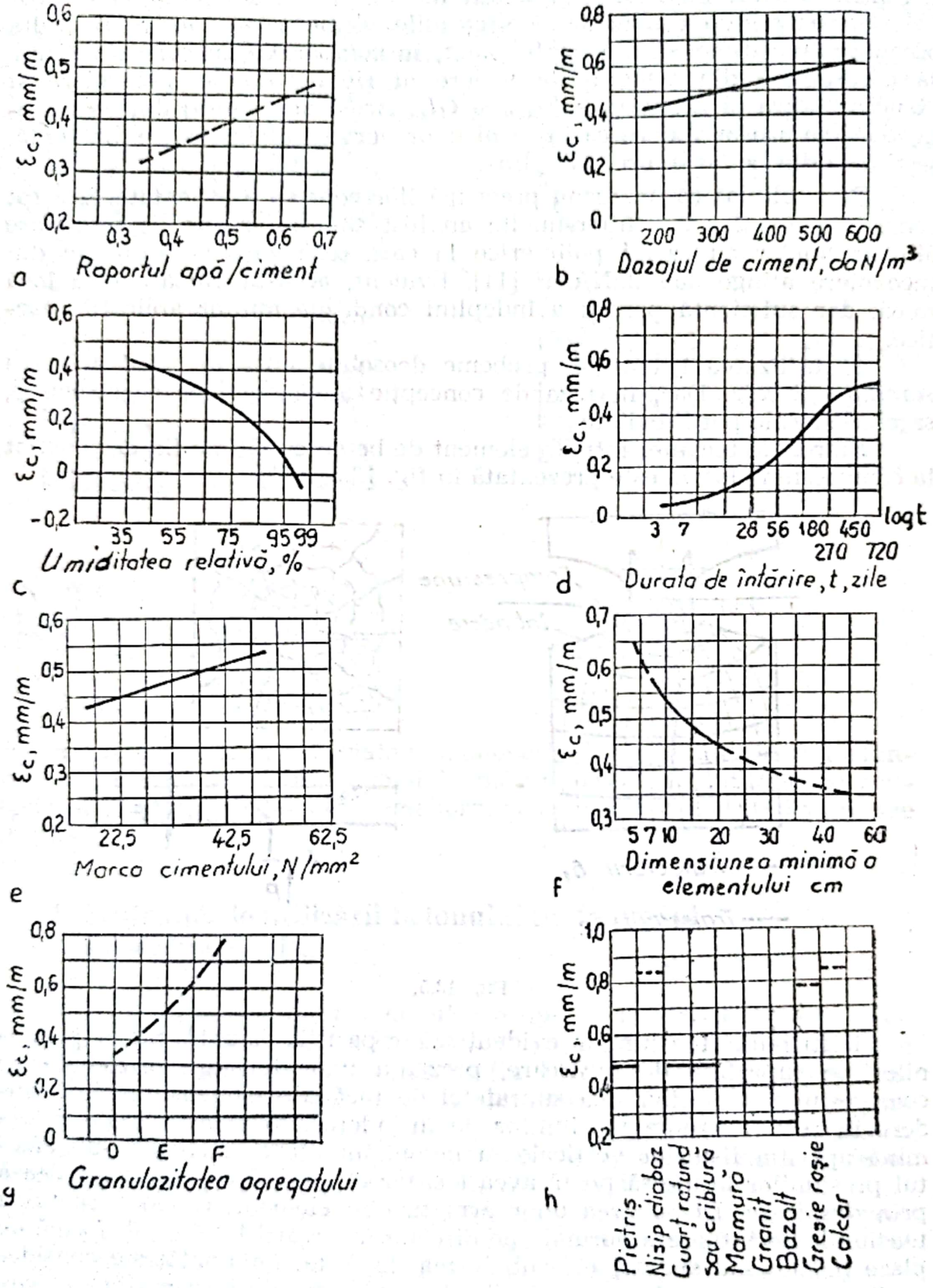

0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
εc, mm/m
0,3 0,4 0,5 0,6 0,7
a
Raportul apă/ciment
0,8
0,6
0,4
0,2
0
200 300 400 500 600
b
Dozajul de ciment, daN/m³
0,6
0,4
0,2
0
-0,2
35 55 75 95 99
Umiditatea relativă, %
c
0,8
0,6
0,4
0,2
0
3 7 28 56 180 450 270 720
log t
d
Durata de întărire, t, zile
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
22,5 42,5 62,5
Marca cimentului, N/mm²
e
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
5 7 10 20 30 40 60
Dimensiunea minimă a elementului cm
f
0,8
0,6
0,4
0,2
0
O E F
Granulozitatea agregatului
g
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
Pietriș
Nisip diabaz
Cuarț rotund sau cribluri
Marmură
Granit
Bazalt
Gresie roșie
Calcar
h

Fig. 13.6.

detașarea unui volum de beton avînd forma unui trunchi de piramidă sau a unui trunchi de con (fig. 13.5, *b*). Factorii care condiționează poansonarea sînt: grosimea elementului, perimetrul suprafeței de repartiție a sarcinii locale, calitatea și sortimentul betonului, sistemul de armare al elementului pentru preluarea momentelor de încovoiere, modul de realizare a armăturii transversale destinată împiedicării poansonării. Pentru prevenirea pericolului de poansonare, soluția cea mai eficace constă în armarea cu bare înclinate la 45°, normale pe direcția de fisurare prin străpungere.

În cazul batiurilor din beton pentru mașini-unelte, pericolul despicării și al poansonării apare în zonele de plasare a tălpilor pe fundație, ca și ale elementelor de asamblare ale ghidajelor. Evident, zonele respective necesită o tratare corespunzătoare, care să satisfacă comportării betonului la solicitările locale, specifice sarcinilor aplicate.

Contracția și curgerea lentă sînt fenomene reologice ce se desfășoară pe parcursul primilor doi ani și care influențează comportarea elementelor constructive din beton. Aceste două fenomene sînt cele care provoacă, în rîndul specialiștilor din domeniul mașinilor-unelte, cele mai mari îndoieli privind posibilitatea utilizării betonului în execuția batiurilor, montanților, suporților etc. Se apreciază că deformațiile ce apar în urma contracției și curgerii lente sînt greu de controlat, ceea ce evident ar afecta precizia de prelucrare pe mașini-unelte. În realitate, efectele acestor două fenomene sînt contradictorii și deformațiile rezultante pot fi apreciate cu suficientă precizie, pentru a le diminua consecințele nefavorabile.

Contracția betonului depinde de un număr mare de factori, cei mai importanți fiind: raportul apă/ciment, dozajul de ciment, umiditatea relativă, durata de întărire, marca cimentului, dimensiunea minimă a elementului constructiv, granulozitatea agregatelor, natura acestora etc. Influența acestora asupra deformației prin contracție a betonului este prezentată grafic în fig. 13.6 [2].

Din analiza acestor grafice se desprind măsurile de diminuare a contracției. Între cele mai indicate sînt: diminuarea la minimum a cantității de apă utilizate (contracția unui beton cu raportul apă/ciment= =0,5 este cu 50% mai mică decît în cazul betonului cu apă/ciment= =0,65), micșorarea dozajului de ciment, uscarea betonului în mediu umed, utilizarea unor agregate fine etc. Deformațiile ce rezultă în urma contracției sînt supuse unor calcule riguroase, relațiile de bază fiind indicate în STAS 101076/0-76 și recomandările CEB [2]. Orientativ, valorile aproximative ale contracției betonului, conform recomandărilor CEB, sînt indicate în tabelul 13.1.

Tabelul 13.1. **Valorile contracției finale, în mm/m**

Vîrsta betonului	Umiditate relativă			
	≈ 75%		≈ 55%	
	$b_f \leq 200$ mm	$b_f \geq 600$ mm	$b_f \leq 200$ mm	$b_f \geq 600$ mm
Tînără (1—7 zile)	0,26	0,21	0,43	0,31
Mijlocie (7—60 zile)	0,23	0,21	0,32	0,30
Înaintată (60 zile)	0,16	0,20	0,19	0,28

Scanned with OKEN Scanner

Curgerea lentă reprezintă o deformație a betonului care se manifestă în timp sub acțiunea unei încărcări diferită de zero. Fenomenul de curgere lentă este mai intens în prima etapă după încărcare, atenuîndu-se treptat. Valoarea deformațiilor de curgere lentă este funcție de intensitatea și durata încărcării, de marca cimentului și dozajul de ciment, de raportul apă/ciment, de vîrsta betonului în momentul încărcării, temperatura și umiditatea mediului ambiant, de dimensiunile elementului constructiv etc. În acest sens, este unanim recunoscut că dozajele mari de ciment conduc la creșterea deformațiilor de curgere lentă, iar la betoanele preparate cu o cantitate mare de apă se accentuează aceste deformații.

Umiditatea mediului înconjurător influențează apreciabil fenomenul de curgere lentă. În medii cu umiditate scăzută, curgerea lentă este mai intensă decît în medii cu umiditate ridicată. Elementele supuse unui tratament termic (aburire) înainte de încărcare prezintă deformații de curgere lentă cu 30—40% mai mici decît la betoanele obișnuite. Dacă elementele din beton sînt izolate de mediul exterior cu pelicule hidroizolatoare, deformațiile de curgere lentă sînt mai mici cu circa 20% față de elementele neizolate. Curgerea lentă se desfășoară mai intens la elementele cu dimensiuni reduse ale secțiunii transversale, în raport cu cele masive. Prin cele prezentate mai sus se evidențiază măsurile cele mai eficiente de diminuare a curgerii lente.

Valoarea maximă a deformației φ prin curgere lentă a betonului se calculează, conform STAS 10107/0-76, cu relația:

$$\overline{\varphi}=K_1K_2K_3\varphi_0,$$

în care φ_0 reprezintă valoarea de bază a deformației curgerii lente, dependentă în principal de marca betonului (tabelul 13.2); K_1 — coeficientul dependent de gradul de maturitate al betonului (tabelul 13.3); K_2 — coeficient dependent de gradul de solicitare (tabelul 13.4) și K_3 — coeficient

Tabelul 13.2. **Valorile de bază ale deformației prin curgere lentă**

Marca betonului	B200	B300	B400	B500	B600
φ_0	3,30	2,80	2,70	2,60	2,50

Tabelul 13.3. **Valorile coeficientului K_1**

Solicitări aplicate la t zile de la turnarea betonului	K_1
t=28 zile	1,0
60 zile	0,7
90 zile	0,6
120 zile	0,55
>180 zile	0,5

Tabelul 13.4. **Valorile coeficientului K_2**

Raportul σ_b/R_{b0}	K_2
$\leqslant$0,5	1,0
>0,5	$2,0\frac{\sigma_b}{R_{b0}}$

R_{b0} — rezistența la compresiune, pe cub, a betonului la data aplicării sarcinii;
σ_b — tensiune unitară maximă de compresiune, în secțiunea considerată.

Scanned with OKEN Scanner

dependent de influența umidității relative a mediului ambiant (tabelul 13.5).

Tabelul 13.5. **Valorile coeficientului**

Umiditatea relativă	K_3
40%	1,3
60%	1,0
100%	0,5

Pentru obținerea unor precizii superioare în calcul se indică a se utiliza metodologia recomandată de CEB [2].

În concluzie, deformațiile reologice ale betonului datorate contracției și curgerii lente sînt supuse calculului. Aceste deformații sînt controlabile prin valorile lor maxime sau prin valorile lor la momentul $t > t_0$. De menționat că deformațiile reologice pot fi diminuate la minimum prin adoptarea unor tehnologii optime de preparare a betonului prin armare sau prin înlocuirea cimentului, în calitate de liant, cu rășini sintetice.

5. Preocupări privind îmbunătățirea caracteristicilor betonului

În execuția elementelor constructive ale mașinilor-unelte se folosesc numai betoane de calitate superioară, ale căror caracteristici trebuie să satisfacă condițiile de rezistență, precizie și durabilitate impuse. Dar, pentru obținerea unor betoane de calitate superioară este necesară folosirea unor componente (agregate, lianți) de calitate superioară, o dozare riguroasă a tuturor componentelor și utilizarea unor procedee eficiente de compactare a betonului la punerea acestuia în formă. Astfel, pentru asigurarea unor contracții minime, agregatul trebuie să aibă granule cu dimensiuni de sub 8 mm. De asemenea, raportul apă/ciment nu trebuie să depășească 0,5, iar apa utilizată să nu conțină mai mult de 0,8% săruri sulfuroase, peste 3% clorură de sodiu sau uleiuri, grăsimi etc. Prepararea betonului trebuie să respecte reguli precise; amestecarea componentelor trebuie să asigure dispersarea lor uniformă în întreaga masă și trebuie să fie efectuată într-un timp determinat. Numai din modul de preparare a betonului pot rezulta variații ale rezistenței la compresiune, spre exemplu, de 3 . . . 5%. Pe aceeași linie, o atenție specială se acordă umplerii formei elementului constructiv, asigurîndu-se compactitatea întregii mase de beton. Cele mai bune rezultate se obțin atunci cînd se realizează o consistență slab plastică a betonului, vibrîndu-se masa acestuia prin cofraj, armătură sau direct.

Deci, pentru obținerea unor proprietăți fizico-mecanice corespunzătoare, operațiile de preparare și punere în formă ale betonului necesită a fi riguros controlate. Cum aceste operații se efectuează la temperatura mediului ambiant, controlul desfășurării lor se realizează cu facilitate.

Dar, din necesitatea extinderii utilizării betonului în execuția unor elemente constructive ale mașinilor-unelte au fost efectuate ample cercetări, orientate în sensul îmbunătățirii caracteristicilor deficitare ale acestuia. Rezultate deosebite s-au obținut prin introducerea în rețetele de preparare ale betoanelor a unor materiale plastice. Mai întîi acestea au fost prevăzute ca aditivi, în scopul fluidizării betonului și a micșorării cantității de apă utilizate, al micșorării capacității higroscopice a betonului, al protecției contra uleiurilor, al accelerării prizei etc.

Scanned with OKEN Scanner

Progrese spectaculoase s-au realizat atunci cînd rășinile de reacție au fost utilizate ca liant, înlocuindu-se cimentul. Pentru prepararea betonului, de regulă, se folosesc trei clase de rășini sintetice: epoxidice, metacrilice (pe bază de methacrilat de metil) și poliesterice (nesaturate). Prin înlocuirea cimentului se urmărește evitarea constituirii pietrei de ciment (ciment nehidratat) și deci a defectelor de structură sub formă de goluri, pori, fisuri etc., care diminuează caracteristicile utilitare ale betonului. La betonul cu rășini sintetice, în locul apei, (din care, partea în exces se evaporă lăsînd pori) se adaugă o substanță ce declanșează reacția chimică corespunzătoare (întăritoare, acceleratoare sau încetinitoare) în urma căreia se realizează legătura dintre particulele materialului de adaus. Deci, betoanele cu rășini sintetice nu au comun cu betonul-ciment decît materialul de adaus. În urma unor cercetări aprofundate s-a stabilit că, pentru betoanele cu rășini sintetice, cele mai bune rezultate se obțin dacă materialul de adaus este nisipul fin sau grosolan, avînd dimensiunea maximă a particulei de 8 mm. De asemenea, cantitatea optimă de rășină, raportată la greutatea materialului de adaus, reprezintă 5 . . . 7% pentru rășinile epoxidice și metacrilice [11] și 8 . . . 10% pentru cele poliesterice [12].

Betoanele cu rășini sintetice prezintă toate avantajele betonului-ciment și ameliorează sensibil caracteristicile deficitare ale acestuia. Astfel, deformațiile prin contracție se micșorează de peste zece ori, curgerea lentă dispare după 80—100 zile, rezistența la tracțiune se triplează (față de betonul armat), pericolul uleiurilor nu mai există, iar disponibilitatea devine rapidă (durata de priză este de o zi pentru betoanele cu rășini epoxidice și poliesterice și de o oră pentru cele cu rășini metacrilice).

Pentru comparație, în tabelul 13.6 se prezintă caracteristicile betoanelor cu rășini sintetice și cu ciment.

Tabelul 13.6. **Caracteristicile comparative ale betoanelor cu rășini sintetice și cu ciment**

Materialul / Caracteristica	Beton simplu (B500)	Beton cu rășină epoxidică	Beton cu rășină metacrilică	Beton cu rășină poliesterică
Densitatea, kg/dm³	2,4	2,24	2,30	2,30
Modulul de elasticitate, kN/mm²	30	32	38	30
Rezistență la compresiune, N/mm²	30	100	120	110
Rezistență la întindere, N/mm²	5,0	20	25	20
Rezistență la întindere din încovoiere, N/mm²	8,0	35	38	30
Coeficient de dilatare termică, 10^{-6}, K^{-1}	11	13	13	13
Conductibilitatea termică, W/m °K	1,0	0,8	2,0	1,0
Coeficient de amortizare	0,01	0,02	0,015	0,015
Contracția mm/m	0,2	0,015	0,015	0,015
Cedarea lentă mm/m	0,2	Se stabilizează după circa 100 zile		
Durata de întărire	28 zile	1 zi	1 oră	1 zi
Vîscozitatea dinamică, 10^{-3} Ns/m²	100	30	0,1	150

Scanned with OKEN Scanner

Betoanele cu cele trei categorii de rășini sintetice au particularități distincte în preparare, umplere a formei și comportare în exploatare. Betoanele cu rășină epoxidică prezintă caracteristici termice și amortizoare excelente și, în general, nu necesită armare. Betoanele cu rășini metacrilice au caracteristice mecanice superioare, se toarnă în formă foarte ușor, avînd o vîscozitate dinamică minimă, și au durata de priză de numai o oră. Datorită vîscozității mici, aceste betoane au compactitatea cea mai bună, fisurarea la solicitare producîndu-se numai prin ruperea granulelor materialului de adaus. Se recomandă a fi utilizate în toate aplicațiile specifice elementelor portante ale mașinilor-unelte. Betoanele cu rășini poliesterice sînt mai ieftine, dar comportarea lor pe termen lung de utilizare nu este suficient verificată [10].

Concluzii

Betonul este un material de construcții a cărui utilizare în domeniul mașinilor-unelte este în continuă extindere. Astăzi, practic, toate tipurile de mașini-unelte au exemplare în exploatare cu elemente componente executate din beton. În acest sens, cel mai des se menționează strungurile normale, strungurile cu batiu înclinat și mașinile de rectificat. Cele mai multe aplicații s-au făcut pe batiuri orizontale, dar sînt consemnate destule încercări pentru montanți, traverse, suporți portsculă, corpuri de cuțite, alimentatoare cu bare la strungurile automate etc. În utilizarea betonului se menționează realizarea unor construcții cu rigiditate sporită, reducerea duratei de execuție, comportamentul termic excelent, capacitatea superioară de amortizare a vibrațiilor, simplificarea tehnologiei de execuție și economii importante la materiale și manoperă. Totodată, trebuie avute în vedere și caracteristicile deficitare ale betonului: rezistența la tracțiune, comportarea la sarcini locale și deformațiile datorate fenomenelor reologice (contracția și curgerea lentă). Însă, avînd în vedere progresele înregistrate pe linia atenuării efectelor acestor caracteristici se poate considera betonul ca un material cu deosebită perspectivă de utilizare în execuția elementelor portante ale mașinilor-unelte.

BIBLIOGRAFIE

1. NICULA I., ONEȚ T. Beton armat. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.
2. TERTEA I. Beton precomprimat. Ed. Tehnică, București, 1981.
3. ISPAS C., BALCU M., POPOVICIU G., NEDELCU C. Studiul comparativ privind utilizarea betonului în construcția de mașini-unelte, efectuat prin metoda elementului finit. Construcția de mașini, nr. 8, 1985.
4. ISPAS C., BALCU M., POPOVICIU G., NEDELCU C. Studii teoretice și experimentale privind starea de tensiune și deformație a batiurilor din beton pentru mașini-unelte. Buletinul IPB, seria Construcții de mașini, tomul XLVII, 1986.

Scanned with OKEN Scanner

5. ISPAS C., ZAPCIU M., POPOVICIU G., NEDELCU C. Analiza constructivă a batiurilor mașinilor orizontale de alezat și frezat. A VI-a Conferință Națională de Mașini-unelte, București, 1986.
6. GRAB H., THEIMERT P. H. Beton im Werkzeugmaschinenbau. Werkstatt und Betrieb, nr. 4 (109), 1976.
7. SCHULZ H., NICKLAU R. G. Werkzeugmaschinengestelle aus Polymerbeton. Werkstatt und Betrieb, nr. 10 (114), 1981.
8. NICKLAU, R. G. Werkzeugmaschinengestelle aus Beton und betonähnlichen Werkstoffen. Industrie Anzeiger, nr. 16, 1981.
9. * * * Japanische Studie Grundlagen und Anwendungs — Forschung über Bauelemente aus Polymerbeton. Industrie Anzeiger, nr. 17, 1983.
10. WECK M., GRUND P., SAHM D. Reaktionsharzbeton — Alternative zum Gusseisen für Maschinengestelle? VDI-z, Nr. 5 (127), 1985.
11. DEY H. J. Reaktionsharzbeton im Werkzeugmaschinenbau. Industrie Anzeiger, nr. 21, 1986.
12. NAFZ H. Polymerbeton — ein vielseitiganwendbarer Werkstoff setzt sich durch Die Maschine, nr. 10, 1987.

Scanned with OKEN Scanner

V

TEHNOLOGII INDUSTRIALE DE MARE EFICIENȚĂ ECONOMICĂ

Scanned with OKEN Scanner

14

Stadiul turnării cu modele gazificabile

Prof. dr. ing. *Laurentie Sofroni*
Dr. ing. *Ion Chira*
Ing. *Ioan Mărginean*
Institutul Politehnic Bucureşti

Procedeul de turnare cu modele gazeificabile din polistiren expandat a apărut în urmă cu 30 ani şi s-a extins larg în ultimii 10 ani [1; 2].

Extinderea acestui procedeu se explică şi prin următoarele înlesniri tehnologice, cu influenţe pozitive asupra calităţii pieselor turnate şi a unor indicatori economici:

1) lipsa suprafeţei de separaţie la model şi la formă — nu apar bavuri, piesa poate avea orice poziţie la turnare, se modifică substanţial sistemul de maselotare şi reţeaua de turnare, curăţirea este mult simplificată;

2) absenţa miezurilor propriu-zise (cu marcă) — se obţin piese cu interior deosebit de complex, fără pericolul dezaxărilor şi cu toleranţe dimensionale mult mai restrînse;

3) eliminarea operaţiei de demulare — eliminarea înclinărilor constructive şi chiar utilizarea modelelor cu conicitate inversă, creşterea indicelui de scoatere cu 3—18% [7, 11, 13];

4) eliminarea lemnului din modelării — evitarea rebutului datorită contragerii-deformării garniturii de model şi modificarea substanţială a costurilor în modelărie;

5) absenţa operaţiei de întărire a formei, prin uscare — eliminarea sectoarelor de preparare amestecuri de forme şi miez, a sectoarelor de formare-miezuire, uscare şi dezbatere [14].

Patentul pentru acest procedeu, sub denumirea „Tehnologii de turnare în forme pline fără demularea modelului", a fost obţinut în anul 1958 de H. Shroyer (S.U.A.) [3; 5]. În anul 1964 în Anglia apar variantele acestui procedeu, Replicast FM (cu gazificarea modelului la turnare) şi Replicast CS (cu gazificarea modelului în forma coajă anterior turnării). În Franţa acest procedeu a fost dezvoltat de firma Foseco. În Italia firma „Fata" specializată în turnarea de precizie, în colaborare cu concernul Teksid Company realizează cu noul procedeu denumit Policast process, întreaga producţie de piese din aluminiu şi fontă pentru autoturismul Ritmo 70 [4; 6;12].

În prezent perspective mari are procedeul de turnare cu modele gazificabile vopsite, împachetate în nisip, fără liant, consolidat cu sau fără vid [7, 9, 13 14, 15].

Scanned with OKEN Scanner

1. Stadiul aplicării industriale a procedeului

Avantajele evidente tehnico-economice ale acestui procedeu explică faptul că la nivelul anului 1986, peste 100 de mari turnătorii integrate, ale unor firme cu renume, aplică această tehnologie (peste 50 de turnătorii din S.U.A. și CANADA). În S.U.A. sînt organizate seminarii naționale, anuale, în fiecare octombrie, la MICHIGAN CHAPTER, sub auspiciile A.F.S. (AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY), cu tema, „*FOAM CASTING TECHNOLOGY*", iar salonul-expoziție, național, de realizări tehnice CAST EXPO '87, deschis între 6—9 aprilie 1987 la ST. LOUIS, prezintă în exclusivitate experiența ultimilor 20 de ani a turnătoriilor din S.U.A. în acest domeniu, precum și prognoze de dezvoltare și perspectivele procedeului *EVAPORATIVE PATTERN CASTING* [16, 17].

Firma AUTO ALLOYS FOUNDRIES Ltd. de la DERBYSHIRE, care în anul 1985 a împlinit 25 de ani de la înființare, este prima turnătorie integrată din MAREA BRITANIE, care în anul 1982 a cumpărat licența pentru procedeul REPLICAST de la firma FOSECO—FRANȚA, și a fost prima turnătorie independentă din EUROPA care a contractat la întreaga scară a producției comerciale, piese pentru automobile realizate cu modele din polistiren; actuala tehnologie de la AUTO ALLOYS s-a asimilat în circa 5 ani și a necesitat o investiție de $\sim$ 1 milion de lire sterline. În ultimul timp procedeul este aplicat la scară industrială, cu succes, în S.U.A., ITALIA (firmele TEKSID și FIAT), CANADA, GERMANIA, ISRAEL, OLANDA, SPANIA, BRAZILIA și AUSTRIA [3].

Utilizarea procedeului conduce la obținerea de piese de calitate, în condițiile unor consumuri specifice reduse de materiale și energie; astfel, la blocul de motor de la automobilele SATURN turnate la CENTRAL FOUNDRY DIVISION OF GENERAL MOTORS, manopera de curățire și finisare se reduce cu 40%. Similar, firmele TEKSID S.p.A. — FIAT (care a investit 8,5 milioane lire sterline în dotarea turnătoriei de aluminiu cu utilaje pentru realizarea acestei tehnologii) și FATA — EUROPEAN GROUP S.p.A. (filială a concernului BABCOCK Int. din MAREA BRITANIE, specializată pentru exportul de licențe și Know-how-uri de turnare prin cădere liberă în forme metalice pe linii de conveior, carusel și automate multipoziționale integrate) la blocul motor al automobilului FIAT ARGENTINA reușesc să reducă cu 75% prelucrarea formelor metalice utilizate în producție și obținute după noua tehnologie.

Firma PEUGEOT din FRANȚA la turnătoria de la SOCHAUX produce un milion de blocuri de motor de 1,3 l pe an, de la modelul DIESEL 305/XUD9, iar firma CITROËN la turnătoria de la CLICHY realizează tuburile de la amortizoarele modelului BX și alte 300 repere diferite din fontă, cu o producție de pînă la 2 000 bucăți/zi din fiecare tip [7, 12, 11].

2. Aspecte metalurgice ale procedeului

La varianta REPLICAST CS se utilizează cruste ceramice realizate cu modele din polistiren (sorturi dense și foarte dense, cu d=35—40 g/l), groase de numai $\sim$ 4 mm, obținute prin depunerea a 3—4 straturi succesive de compoziție ceramică (scufundarea modelelor în barbotină). Cal-

Scanned with OKEN Scanner

cinarea se face la ~ 900°C, timp de numai circa 10 min, turnarea realizîndu-se în formele-coji, chiar neîncălzite. Înainte de turnare formele-coji se împachetează în nisip uzat vidat, pentru mărirea rezistenței mecanice și evitarea deformărilor [11].

Din analiza schemei prezentată în fig. 14.1 rezultă esența procedeului REPLICAST FM. Geometria piesei rezultă concomitent cu eliminarea

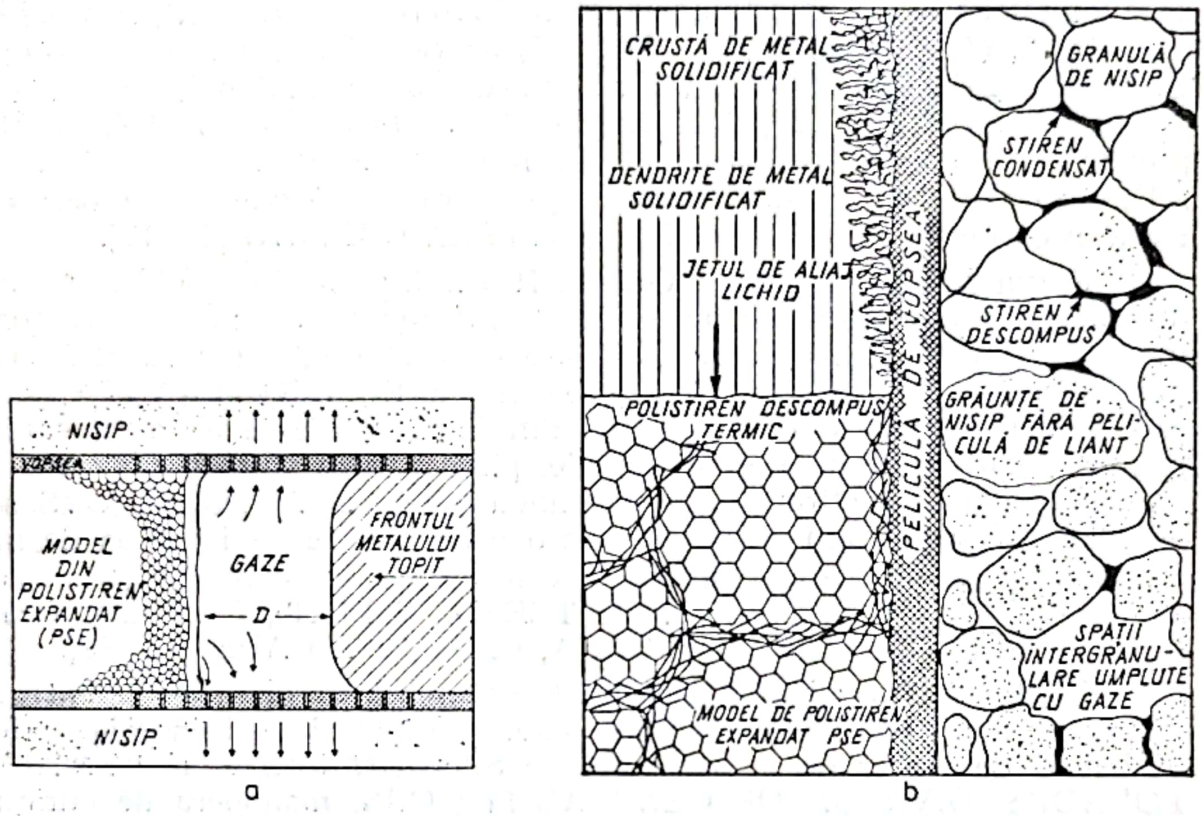


Fig. 14.1. Reprezentarea schematică a proceselor metalurgice care au loc la turnarea cu model gazificabil:
a — ansamblu; *b* — detaliu.

modelului din polistiren din forma constituită din nisip uscat, fără liant. Sînt utilizate modele vopsite, astfel încît crusta refractară, sub acțiunea presiunii gazelor rezultate la termodistrucția modelului, mențin rigiditatea formei și păstrarea configurației cavității-amprentă, evitînd surparea nisipului; stratul de vopsea se impune să aibă o permeabilitate optimă, astfel încît să se asigure atît o evacuare corespunzătoare a gazelor rezultate prin descompunerea polistirenului, dar totodată să se evite formarea de sulfuri exogene.

După cum rezultă din schema prezentată se observă că nu există un contact direct între aliajul lichid și stratul de nisip al formei pe de o parte și nici între metal și modelul de polistiren pe de altă parte; spațiul *D* poartă denumirea de „volum de control" *(control volume)* și are o mărime de ~1 mm. La turnare, în acest spațiu, conținutul de carbon și hidrogen crește considerabil, concomitent cu procentul de monomer stiren și alți polimeri cu greutate moleculară scăzută, în combinație și cu alți componenți de piroliză; în final, în această zonă vor fi prezente hidrocarburi alifatice (aromatice) și resturi catenice cu greutate moleculară redusă (cu 1—3 atomi de carbon) [4, 12].

Scanned with OKEN Scanner

Industrial, la formare, nisipul uscat fără liant, după operația de împachetare (ambalare) a modelului, se poate suplimentar vida la 0,5 . . . 0,7 bar; în acest caz sînt utilizate rame cu pereți dubli, orificii de depresurizare cu site metalice și instalații de vid, similare procedeului V.

Utilizarea vidului are drept scop rigidizarea suplimentară a nisipului în cazul pieselor de mari dimensiuni, cînd se consideră insuficientă elasticitatea și rezistența mecanică a crustei de vopsea refractară, absorbția gazelor rezultate la descompunerea polistirenului și mărirea fluidității aliajului; în orice caz se pare că la turnarea pieselor din oțel, aplicarea vidului este absolut necesară [4, 8].

Procesele de *hidraulică*, desfășurate condiționat de procesul de gazeificare și solidificarea aliajului, duc la apariția unei noi operații în proiectarea tehnologică, distinctă, cu valențe noi și conținut încă insuficient definit, numită „studiul formei" (mould study); această etapă a proiectării tehnologiei contribuie la conturarea tipului de rețea de turnare utilizat și din punctul de vedere al umplerii și curgerii aliajului lichid este echivalentă cu procesul de stabilire a suprafeței de separație la formă și model, de la turnarea clasică [12].

În privința *vitezei de răcire* la solidificare au fost efectuate numeroase cercetări; cu toate acestea, datele existente sînt contradictorii și încă insuficiente pentru caracterizarea completă și exhaustivă a procesului. Pe de o parte se apreciază că procesele convective de transmisie a căldurii prin peretele formei sînt mai reduse ca la forma clasică din amestec și deci solidificarea pieselor turnate cu modele din polistiren se realizează cu viteze mici de răcire (cu atît mai mici în cazul aplicării vidului la formare și la turnare), dar pe de altă parte, dacă se consideră faptul că procesul de termodistrucție al modelului din polistiren are loc cu absorbție de căldură (proces endoterm), se poate conta pe o mărire relativă a vitezei de răcire. Cele două cazuri extreme prezentate sînt în funcție de mărimea piesei turnate, tipul aliajului turnat (temperatura de termodistrucție a modelului), densitatea polistirenului utilizat, construcția rețelei de turnare și natura și permeabilitatea acoperirii (peliculei de vopsea) modelului. La turnarea aliajelor cu baza de aluminiu s-a observat un efect relativ de răcire a piesei mai accentuat ca la turnarea în forme clasice uscate din amestec, cu argilă și bentonită, în consecință obținîndu-se, la compoziții chimice similare, structuri mai fine, dar în general inferioare calitativ celor realizate la turnarea în forme metalice [17].

Procedeul implică atenta analiză a proceselor de la interfețele model-nisip și model-aliaj lichid.

În ceea ce privește calitatea polistirenului utilizat pentru obținerea modelelor de turnătorie, practic trebuie realizat un compromis între tipul supradens, pentru o rigiditate mare și netezimea ridicată a suprafeței acestuia (fără urme ale diametrului fostelor granule expandate) și tipul cu densitate cît mai mică (proces de expandare, la formare, cît mai dezvoltat), pentru obținerea unor capacități maxime de distrucției și asigurare a unei umpleri corespunzătoare a cavității formei [17].

Se consideră că prin *degajarea gazelor* rezultate ca urmare a distrucției modelului se realizează o fragmentare mecanică a dendritelor la cristalizare; pe de altă parte se pare că produsele carbonice prezente în produsele rezultate în urma gazeificării modelului au un *efect modificator*, care contribuie în plus la finisarea structurii aliajelor turnate de tipul fontelor sau aliajelor cu bază de aluminiu.

Scanned with OKEN Scanner

Modificarea vitezei de răcire în cazul formelor vidate se obține prin aplicarea unei folii pe suprafața superioară a cutiei de formare; în acest fel se obține o micșorare a coeficientului b_f ca urmare a stopării transportului convectiv de căldură prin circulația gazelor și aerului. De asemenea, valoarea coeficientului b_f se modifică în limite largi prin schimbarea raportului nisip cuarțos/nisip metalic (alice), tehnologie care conduce la viteze diferite de răcire pe secțiunea piesei, în funcție de construcția acesteia și necesitățile de rezolvare termică a diferitelor noduri termice ale ei [18].

În final, se avansează ideea că prin descompunerea endotermă a polistirenului se realizează un gradient favorabil de temperatură în aliajul lichid care curge și astfel se obține un efect de automaselotare continuă în cursul umplerii cavității, cu efecte deosebite asupra compactității peretelui piesei.

Pentru aliajele neferoase și fonte, descompunerea polistirenului nu conduce la modificarea compoziției chimice a acestora; la oțel și în special la cele cu carbon scăzut, există pericolul carburării (tabelul 14.1).

Tabelul 14.1. **Modificarea compoziției fontei turnate prin diferite procedee**

Compoziția chimică, %	Procedeul de turnare	
	în forme din amestec, cu rășină furanică	în nisip uscat, vidat și cu modele din polistiren
C	3,02	3,02
Mn	0,97	0,90
S	0,08	0,08
P	0,08	0,09
Si	2,03	2,02
Cr	0,27	0,26
Mo	0,04	0,04
Ni	0,37	0,37
Ti	0,02	0,02
Cu	0,09	0,11
Al	0,003	0,005
O	0,09	0,13
H	0,006	0,007
N	0,01	0,01

Modelele din polistiren expandat pot fi folosite pentru *alierea locală, modificare, rafinare;* elementele de aliere sau pentru alte tratamente în stare lichidă a aliajelor sînt amestecate, în stare de pulberi sau granule, cu granulele de polistiren neexpandat și injectate în matrița de expandare cu aburul tehnologic [19]. *Alierea superficială* se realizează de exemplu și prin acoperirea modelului din polistiren cu o pastă realizată din pulbere de ferocrom (66,98% Cr/5,45%C) și rășină furanică; pentru un strat de pastă de 5 mm, la piese din oțel s-a obținut un strat aliat pe o grosime de ~1 mm, cu o duritate de 500 *HV* față de media de 100 *HV* în axa termică a piesei [20]. Tot pentru alierea superficială sînt citate exemple de utilizare a acoperirilor de model pe bază de pulberi de carbură de siliciu (de 5—40 μm), granule de prealiaje (70% Ni, 20% Cr, 5% B și 5% Si, de 1,5—3 mm) sau alte tipuri de pulberi metalice, liate cu silicat de sodiu și rășini epoxidice ca acoperiri la model sau amestecate cu granulele preexpandate și încorporate direct în model la expandarea acestuia.

Scanned with OKEN Scanner

3. Gazificarea modelului

Sub acțiunea căldurii metalului lichid turnat are loc gazeificarea modelului; piroliza polistirenului se produce deci datorită radiației aliajului și gazelor calde, care realizează convectiv transportul de căldură în sistem.

Descompunerea termică a polistirenului, deși descrisă într-un volum mare de date, nu este complet elucidată, lucru parțial justificat de faptul că de această problemă nu s-au ocupat exhaustiv chimiștii, ci tehnologii turnători.

Gazificarea polistirenului este marcată de scăzuta lui conductibilitate termică; din această cauză au loc sublimări ale acestuia în alte fracții polimere, deci apare stare de vapori, dar concomitent sînt prezente și faze lichide de mare densitate [12]. Pe de altă parte solvenții vopselei de acoperire contribuie la formarea fazei lichide care însoțește descompunerea termică a polistirenului.

Evoluția cantității de gaze degajate prin gazeificarea modelului este funcție de densitatea sortului de polistiren utilizat și de temperatura de turnare (tipul aliajului turnat); în general sînt utilizate sorturi de polistiren, care, în stare expandată, au o densitate de 16—24 g/l.

Pentru limitarea cantității de gaze degajate prin piroliza polistirenului la turnarea pieselor din aliaje cu bază de aluminiu se utilizează sortimente de polistiren cu densitatea de 16—20 g/l, iar pentru piesele din fontă, polistiren cu densitatea de 22,5—24 g/l.

Pentru oțel, fie că se aplică depresurizarea formei (vidul) în timpul turnării, fie că se utilzează varianta de turnare cu gazeificare prealabilă, în crustă ceramică (tip REPLICAST CS).

Pentru un același tip de polistiren utilizat, cantitatea de gaze care apare în unitatea de timp va fi proporțională cu raportul între volumul și suprafața modelului; din această cauză rezultă importanța deosebită a proiectării rețelei de turnare, care pe lîngă curgere-umplere, asigură concomitent și procesul de gazeificare.

Polistirenul, substanță compusă din 94% C și 4% H_2, suferă piroliza și gazeificarea în funcție de temperatură; la turnarea aluminiului predomină vapori de polistiren care traversează crusta de vopsea și condensează în straturile reci de nisip de lîngă model, iar la oțel apar produse solide de carbon, denumite impropriu „cărbune lucios" sau „carbon lucios" *(the lustrous carbon)* [17].

Prezența vaporilor de polistiren între frontul metalului lichid și materialul modelului nedeteriorat termic încă, conduce la o serie succesivă de implozii-explozii locale, în urma cărora are loc formarea piesei turnate.

Produsele lichide, formate la temperaturi relativ mici, sînt compuse din benzol, toluen, stirol și etilbenzol; la temperaturi ridicate aceste substanțe se vaporizează.

La contactul cu aliajul lichid modelul din polistiren suferă următoarele transformări: distrucția termică, topirea, vaporizarea (gazeificarea) și arderea; astfel, odată cu mărirea temperaturii aliajului turnat, crește, proporția componentelor gazoase și se micșorează cea a fracției lichide (tabelul 14.2).

În tabelul 14.3 se indică aceste date pentru cazul fenopolistirenului tip PSV-L (utilizat în U.R.S.S.), în condițiile unei turnări care a asigurat o viteză de urcare a metalului în formă de 2,5 cm/s.

Scanned with OKEN Scanner

În fig. 14.2 se indică influența temperaturii asupra volumului specific de gaze, degajat la piroliza polistirenului [21].

Din cauza oxigenului insuficient din formă, produsele lichide rezultate în urma topirii și vaporizării polistirenului nu ard, ci se pot condensa pe suprafața granulelor de nisip, influențînd regimul termic al formei.

Tabelul 14.2. **Cantitatea specifică de gaze rezultate la gazificarea modelelor din polistiren**

Temperatura de turnare, °C	450	750	1300	1550
Cantitatea specifică de gaze rezultate, cm^3/g	25	40	300	500—600

Tabelul 14.3. **Produsele termodistrucției fenopolistirolului, în % volumice; analiză efectuată cu cromatograf tip XL-4 (fabricație U.R.S.S.)**

Temperatura aliajului turnat, °C	Produsele termodistrucției, %								
	H_2	CO	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	C_3H_6	C_3H_8	iC_5H_{12}
700	15,52	20,4	47,9	7,68	1,54	0,25	—	—	6,31
1 300	49,8	1,95	15,04	7,95	10,0	0,33	0,47	0,14	4,32
1 550	68,46	8,35	9,76	3,37	5,3	0,30	0,76	0,43	3,27

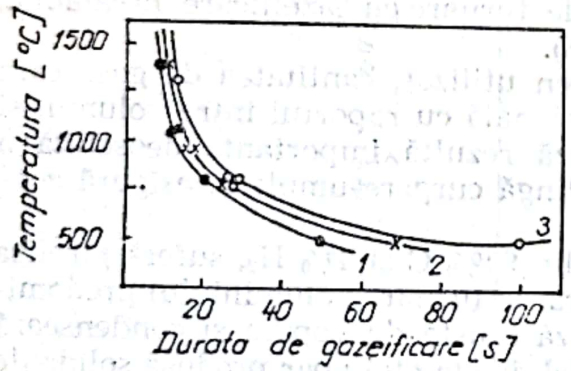


Fig. 14.2. Volumul relativ de gaze la piroliza polistirenului, la diferite temperaturi, după arderea în aer a unor probe standard de *1* — 1 g; *2* — 2 g; *3* — 3 g de polistiren.

S-a observat că aplicarea vibrării formei în timpul turnării mărește viteza de gazeificare a modelului, concomitent cu mărirea permeabilității stratului de vopsea, ceea ce face posibilă mărirea debitului de turnare.

Proporția de hidrogen și de cărbune lucios crește liniar cu temperatura; proporția de oxid de carbon, etilenă, acetilenă, propilenă și etan atinge valoarea maximă la temperatura de 900—1 000°C.

Se avansează ideea că degradarea modelului începe chiar la temperaturi relativ scăzute (77°C sau 170 F), cînd are loc o contragere volumetrică (micșorarea dimensiunii granulelor expandate), granulele putînd atinge mărimea de 1/40 din dimensiunea inițială; rezultă astfel o fază lichidă de plastic topit care odată cu mărirea temperaturii începe să vaporizeze (204°C sau 400 F). Dintre gazele inițiale se pot enumera CH_4, H_2, CO și vapori de stiren; dacă în sistem este prezent oxigenul în cantitate mare, aceste gaze inițiale, combustibile, ard trecînd în CO_2, H_2O, funingine (negru de fum), cu un efect caloric important (~8 000 Btu/lb). În lipsa oxi-

Scanned with OKEN Scanner

genului, evaporarea masei lichide de polistiren este un proces endoterm, care preia căldura de la aliajul lichid (~300 Btu/lb) (Btu=*British thermal unit;* 1 Btu=1,05506.10³J; lb=pound; 1 lb=0,453952 kg și 1 Btu/lb≅2,32601.10³ J/kg).

Efectul caloric endoterm necesar gazeificării polistirenului este funcție și de temperatura de piroliză; astfel, la turnarea fontei la 1 300—1 350°C sînt necesare ~3 450 kcal/kg, iar la turnarea oțelului, între 1 450 și 1 530°C sînt necesare peste 4 700 kcal/kg.

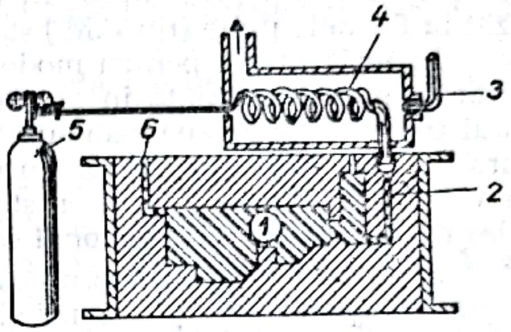


Fig. 14.3. Gazificarea prealabilă a modelului:

1 — model gazificabil; *2* — canal; *3* — arzător; *4* — spirală metalică; *5* — gaz purtător de căldură; *6* — răsuflătoare.

Pentru evitarea accidentelor, se recomandă captarea acestor gaze combustibile și aprinderea lor în mod intenționat.

În cazul utilizării polimetilmetacrilatului (PMMA) la termodistrucția pirolitică rezultă o cantitate de gaze cu 40—50% mai redusă pe unitatea de masă, comparativ cu polistirenul, ceea ce are un efect net favorabil asupra calității piesei turnate; acest fapt influențează și carburarea superficială, care la modelele din polistiren este de 0,1—0,3% C, iar la PMMA de numai 0,05% C.

În cazul cojilor ceramice eliminarea modelului din polistiren (gazeificarea prealabilă turnării) se poate realiza prin calcinare clasică sau cu ajutorul radiației cu raze ultraviolete; procedeul este aplicabil și se recomandă în cadrul liniilor automate de turnare, de tipul caruselelor [22].

Eliminarea modelului din coaja ceramică se realizează și separat pentru fiecare formă în parte (fig. 14.3); ca și gazele purtătoare de căldură (cu temperaturi între 427 și 482°C) se pot utiliza CO_2, N_2 sau Ar [23].

Automatizarea procesului de formare a condus la eliminarea modelului prin solvatarea acestuia chiar în timpul formării și întăririi crustei ceramice. În cazul eliminării modelului prin dizolvarea acestuia în diferiți solvenți, se observă că procesul de solvatare al polistirenului este neuniform pe grosimea de perete; astfel, în zona periferică, care a fost în contact direct cu matrița la expandare, se obține o viteză maximă de dizolvare, zonele profunde (cu grad redus de expandare) solvatîndu-se cu viteze de 3—7 ori mai reduse. Uniformizarea gradului de expandare pe grosimea de perete a modelului se obține prin realizarea unei expandări în regim dinamic (expandarea în jet de abur), cu utilizarea unor matrițe cu pereții realizați din pulberi sinterizate (poroase pe întreaga suprafață activă).

4. Confecționarea modelelor

Obținerea modelelor se face în funcție de caracterul producției și anume prin prelucrarea mecanică din semifabricate (plăci, blocuri, cilindri) de polistiren expandat și prin expandare în matriță pentru producția de serie mare [24].

Scanned with OKEN Scanner

Prelucrarea mecanică se face prin tăierea cu ferăstraie tip panglică (cu viteze de 2—6 m/s) sau decuparea cu fir de nichelină încălzit (cu diametrul de 0,5—1,5 mm); părțile componente se lipesc apoi între ele, utilizîndu-se o serie de adezivi.

Prin expandarea în matriță se realizează fie întreg ciorchinele, în cazul pieselor mici și mijlocii, fie numai o serie de modele cu alimentator comun, care apoi prin suprapunere, tot prin lipire, formează modelul utilizat la formele pline (tip F.M.) sau forme-coajă (tip C.S.).

Materia primă pentru modele o reprezintă granulele de polistiren, a căror densitate aparentă în vrac este de 600—700 g/l; acestea sînt supuse unui tratament de preexpandare în contact cu vaporii de apă la temperatura de 110—120°C; în tratamentul de preexpandare se obține o densitate în vrac de 15—30 g/l, cu o creștere deci de 20—50 ori a volumului granulelor de polistiren (convențional se admite 1 daN/m^3 ≈ 1 g/l).

După uscare granulele preexpandate sînt depozitate, apoi transferate pneumatic pînă la secția de formare, unde sînt injectate în forme metalice, care prezintă numeroase orificii prin care intră vaporii de apă cu temperatura de 110—120°C și presiunea de 0,33—1,75 daN/cm^3. În matrițe are loc procesul de „coacere", care constă în umflarea granulelor de polistiren și de sudare între ele; suprafața granulelor în această etapă începe să se înmoaie și parțial să se topească (să curgă și să apară fază lichidă). În continuare, matrița este răcită cu apă pînă cînd modelele ajung la temperatura de 40—50°C și pot fi extrase fără riscul de deformare [4].

Polistirenul expandabil reprezintă un sistem termodinamic bifazic pe bază polimerică (polistiren) și pe bază de component generator le gaze (izopentan). Polistirenul trece în stare de curgere la temperaturi de 160—170°C, și începe să se gazeifice la temperaturi de 220—250°C (distrucție termooxidantă); domeniul temperaturilor de injectare este de 160—220°C.

La aceste temperaturi izopentanul poate dezvolta în sistem presiuni 2—3,6 MPa (1 MPa=1 N/m^2); într-un centimetru cub de materie primă se găsesc 5.10^5 bule primare de izopentan.

Proporția volumică (φ) a izopentanului în sistem se poate determina cu relația

$$\varphi=\rho_p/(19\rho_i+\rho_p),$$

în care: ρ_p și ρ_i sînt densitățile polistirenului și izopentanului.

La 190°C ρ_p=856 kg/m^3 și ρ_i=240 kg/m^3; rezultă proporția volumică a izopentanului de 0,16. Din calcul reiese că incluziunile primare gazoase de izopentan în polistiren (înainte de injectare) au diametrul mediu $r_0=4.10^{-5}$ m.

În perioada de 1 s cît durează umplerea cavității matriței cu polistiren, pierderile de temperatură ale acestuia sînt mici (cu excepția unui strat subțire de 0,1 mm la interfață), deci temperatura sistemului se menține constantă.

Stratul superficial are conductivitate termică mică și izolează polistirenul de matriță. Rezultă că transferul de masă în peretele modelului sub acțiunea vaporilor de izopentan și a energiei transmise sistemului în timpul injectării joacă rolul principal în procesul de formare a modelului; pe seama acestui proces are loc umplerea a 75—80% din volumul cavității formei.

Are loc dilatarea incluziunilor primare de izopentan, și într-o perioadă de 10^{-6} s după începerea expandării, incluziunile intră în contact în-

Scanned with OKEN Scanner

tre ele. Astfel, volumul incluziunilor primare crește în medie de circa 6 ori, iar volumul total al sistemului de numai 2 ori, ceea ce nu este suficient pentru obținerea densității necesare modelului (densitate mică, în medie de 25 daN/m³, avantajoasă din punctele de vedere economic și al posibilității de gazeificare în timpul turnării aliajului).

În această etapă bulele primare se distrug intens degajînd izopentan. Concomitent cu distrugerea bulelor primare are loc formarea celor secundare, unite între ele prin canale, prin care izopentanul părăsește sistemul.

Pentru continuarea procesului de expandare este necesar ca sistemul să îndeplinească condiția

$$(-P\mu)(\partial p/\partial x)\mathrm{d}S\ \mathrm{d}\tau_0\rho_i < C_{0i}\rho_0 Q\ \mathrm{d}\tau_0,$$

în care: $P\mu$ este coeficientul de transfer de masă a izopentanului; p — presiunea în sistem; C_{0i} — concentrația izopentanului în starea inițială; ρ_0 — densitatea materialului în starea inițială; Q — consumul de material; S — aria suprafeței; τ_0 — timpul; x — distanța de la punctul de injectare pînă la frontul de expandare.

Partea stîngă a inegalității exprimă pierderile de izopentan, iar partea dreaptă exprimă cantitatea de izopentan care pătrunde în sistem; ambele părți depind în mare măsură de consumul specific de material în momentul injectării.

Pentru exemplificare sînt luate în considerare două cazuri: curgerea de la sine a polistirenului din cilindrul mașinii automate de injectare și injectarea lui bruscă în cazul în care întreg volumul materialului V_0 pătrunde în formă, înainte de începerea expandării.

În primul caz (fig. 14.4, *a* — cazul injectării cu debit mic de material) presiunea izopentanului p_i în cilindrul cu material al mașinii și debitul specific de material se vor micșora în timp, ținînd seama de corelația dintre ele, din hidraulică

$$Q=\mu S\sqrt{2\Delta_p/\rho},$$

în care: μ este coeficient de debit; S — suprafața secțiunii orificiului; Δp — căderea de presiune; ρ — densitatea lichidului. Forma se va umple încet, în condițiile micșorării presiunii izopentanului.

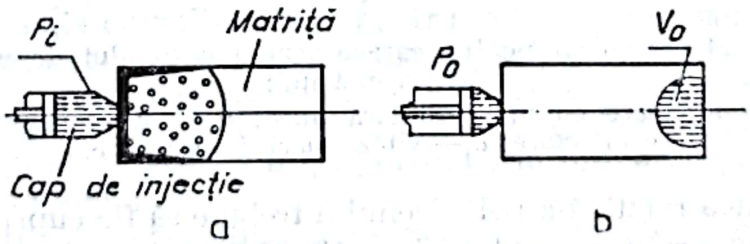


Fig. 14.4. Schemă pentru definirea procesului de injectare a modelului:
a — curgerea de la sine a polistirenului în matriță;
b — injectarea parțială a polistirenului.

În cazul al doilea (fig. 14.4, *b* — injectarea cu debit mare) materialul lovește cu viteză mare peretele matriței (șoc neelastic) și ca urmare, conform legii lui Bernoulli, are loc creșterea instantanee a presiunii

$$p=p_0+(\rho v^2/2).$$

Scanned with OKEN Scanner

unde: p_0 este presiunea cu care se realizează injectarea materialului; v — viteza jetului. Sub acțiunea acestei presiuni izopentanul este îndepărtat din sistem, înregistrîndu-se pierderi mari din acesta încă înainte de începerea expandării. Condițiile de formare a modelului devin astfel nefavorabile. Este deci necesară optimizarea debitului de material în timpul injectării.

Pentru același debit pot fi folosite viteze diferite, știind că viteza de injectare este determinată de dimensiunea orificiului de penetrare, respectiv

$$Q=v(\pi \cdot d^2/4),$$

unde: d este diametrul orificiului de penetrare, în m; v — viteza de penetrare a materialului, în m/s. În funcție de această viteză pot fi două cazuri diferite de umplere a formei: de la partea orificiului de pătrundere și de la peretele opus acestui orificiu.

În primul caz (fig. 14.5, *a* — injectarea materialului cu viteză liniară mică) umplerea formei are loc prin împingerea întregii mase de material cuprinsă între orificiu și frontul de expandare.

În cazul al doilea (fig. 14.5, *b* — injectarea materialului cu viteză optimă) jetul, întîlnindu-se cu frontul de expandare, se va frîna brusc datorită vîscozității mari a topiturii (10^3—10^2 Pa.s) iar transferul de masă are loc imediat în vecinătatea frontului de expandare. Procesul de expandare nu este frînat (în figură zona înnegrită reprezintă frontul de expandare). Așadar, la viteze optime de injectare, umplerea formei trebuie să înceapă de la peretele opus orificiului de pătrundere, durata de umplere fiind egală sau mai mică decît cea de injectare. Aceste condiții sînt îndeplinite în cazul folosirii unor debite (20—25.10^{-5} m^3/s) și viteze de deplasare (3.10^5 m/s) relativ mari.

La viteze mai mari (fig. 14.5, *c*) condițiile de execuție a modelului se înrăutățesc.

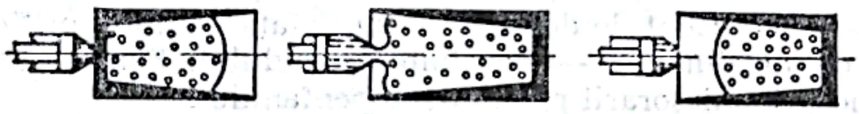


Fig. 14.5. Schemă pentru caracterizarea regimului de umplere a matriței:
a — injectare cu viteză liniară mică; *b* — viteză optimă de injectare; *c* — viteze mari de injectare.

Vîscozitatea relativă a polistirenului trebuie să fie cuprinsă între 1,55 și 1,65, iar temperatura de plastifiere 120°C în prima zonă a cilindrului, 140—170°C — în zona a doua, 170—210°C — în zona a treia și a patra; secțiunea orificiului, 1,5—3,0 mm^2. Se obțin: ρ=15—30 daN/m^3; rugozitatea — clasa 6; precizia dimensională conform calității 1213 (conform normelor din U.R.S.S.).

Așadar, în vederea obținerii prin injectare a unor modele din polistiren cu precizie dimensională și netezime a suprafeței superioare este necesară realizarea unor debite și viteze de curgere optime (Q=20—25.10^{-5} m^3/s, v=3.10^5 m/s) [25].

Scanned with OKEN Scanner

Spre deosebire de polistirenul spongios utilizat în construcții, polistirenul expandat folosit la obținerea modelelor gazeificabile are o compoziție granulometrică inițială mai uniformă, are o greutate moleculară mai mare, rezistență mecanică mai ridicată și un conținut mai mic de monomer rezidual (stiren) la polimerizare. Se obțin corpuri fasonate (modele) cu rezistențe la rupere la compresiune între 0,91—1,4 daN/cm² (pentru o deformare de pînă la 5%); cenușa rezultată la gazeificarea modelului, nu depășește 1%.

O suprafață netedă a modelului se obține din expandarea unui sort de polistiren cu densitate ridicată și utilizarea la expandare de granule cît mai mici de polistiren preexpandat; de exemplu 1 cm³ de model expandat conține ~500 granule care inițial aveau diametrul de 1,25 mm, ~1 000 granule pentru diametrul de 1 mm și 2 370 granule pentru o mărime inițială, înaintea expandării, de 0,75 mm.

Pentru obținerea unei abateri la densitate de ±1 g/l după expandare se impune utilizarea unor ingrediente speciale, care să împiedice procesul de condensare a stirolului și apariția de faze lichide polimerizabile în continuare; o importanță deosebită o prezintă și timpul de stocare-depozitare a granulelor preexpandate, înainte de expandare, pentru a avea loc o așa numită *îmbătrînire naturală*.

Formarea modelelor prin expandare se face utilizînd instalații tip carusel, adoptate din industria maselor plastice și a ambalajelor [7]; uzual, ciclul de obținere a unui model de mărime mijlocie, complicat, cu grosimi de perete între 5 și 13 mm este de ~1,5 min.

Matrița, avînd părți mobile (miezuri, extractoare, tije de centrare, duze de injectare, tuburi de aerisire, ștuțuri pentru aburi și apă de răcire), pentru o bună funcționare, nu trebuie să se încălzească, la expandarea unui model, peste 100—110°C [13].

În locul polistirenului sînt utilizați și alți polimeri, inițiați de firma DOW CHEMICAL din S.U.A., ca de exemplu stirenacrilonitrilul și polimetil-metacrilatul (P.M.M.A.); acești polimeri, cu doi atomi de oxigen în celula catenică, fără grupări de hidrocarburi aromatice și cu reziduuri nevolatile (cenușă) reduse, au o stabilitate dimensională, după expandare, mai bună și nu dezvoltă carbon la gazeificare sub forma cărbunelui lucios, care după cum s-a menționat conduce la apariția de defecte la piesele turnate din oțel [26].

În combinație cu polistirenul, pentru expandare se pot utiliza și alte adaosuri ca: *n*-pentan, *n*-butan și propanul, sub formă de pulberi, în proporții de 3—8%; preexpandarea acestor pulberi se face la temperaturi mai scăzute, de ordinul a 80—100°C, timp de 10 min, cînd are loc mărirea volumului lor inițial de 20—40 ori, ajungînd sub formă de granule cu diametrul de 0,5—1,5 mm.

În literatura de specialitate sînt menționate numeroase tehnici și soluții tehnologice care să conducă la obținerea unor modele de calitate și costuri reduse; de exemplu, la piesele de mari dimensiuni sînt utilizate modele cave care se obțin prin fasonarea la cald a două plăci de polistiren termoplastic. Fasonarea se realizează tot într-o matriță, cu tehnici similare modelării foliei de la modelul V, cu presiuni ale aerului cald de 2 daN/cm² pe suprafața interioară a plăcilor și depresiuni ale matriței (la partea exterioară a modelului, pentru ca acesta să copieze perfect forma acesteia) de 0,4 daN/cm²; după aceea are loc îmbinarea, prin lipire a modelului cu pîlnia și piciorul de turnare [23].

Scanned with OKEN Scanner

5. Matriţe pentru expandare

În general se utilizează matriţe tip cheson, cu pereţi dubli, astfel încît cavitatea-amprentă (partea activă) să poată fi inundată cu abur pentru realizarea expandării, cu apă pentru răcirea modelului deja expandat sau cu aer comprimat pentru operaţia de extragere a modelului.

Matriţele se obţin fie clasic, în secţiile de modelărie metalică-sculărie, fie prin procedee speciale, neconvenţionale de prelucrare; astfel se citează prelucrarea prin electroeroziune, utilizarea de pulberi metalice sinterizate sau utilizarea de matriţe din mase plastice termorezistente care au suprafaţa activă metalizată prin acoperire electrochimică [28].

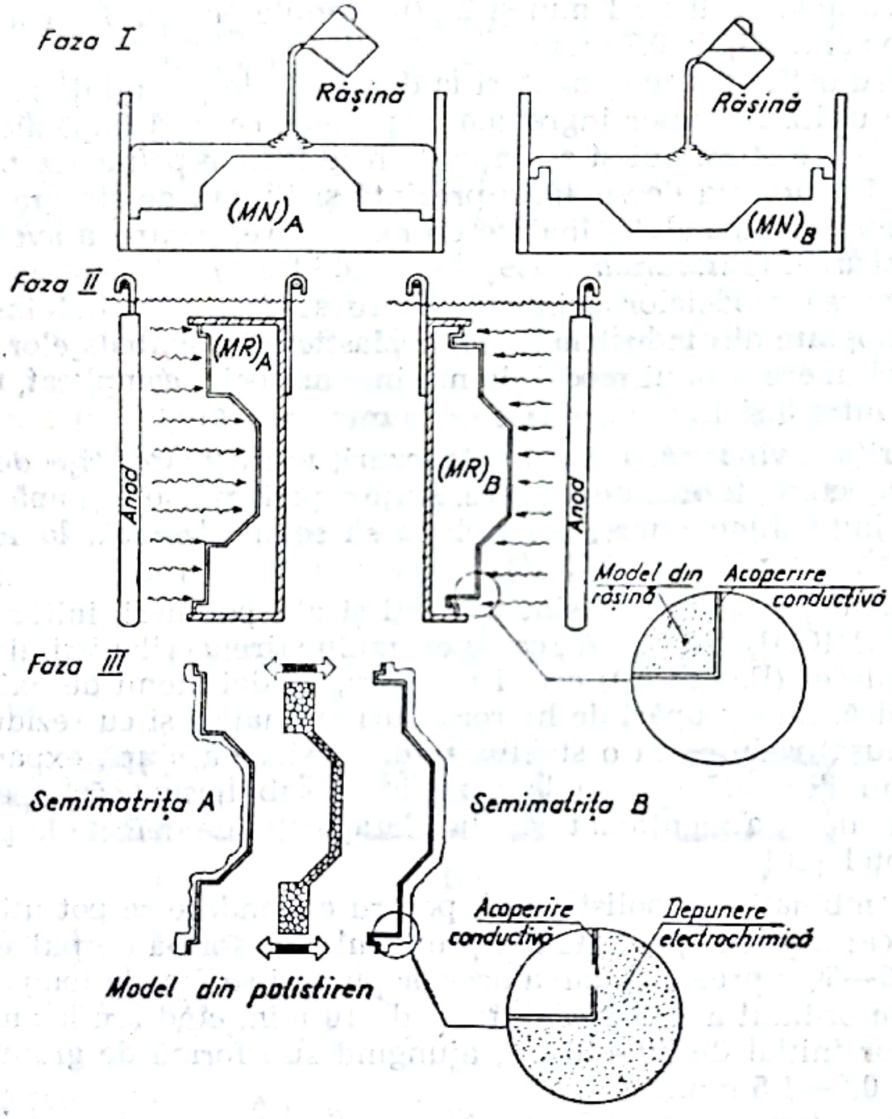


Fig. 14.6. Fazele tehnologice de obţinere a matriţelor din plăci de masă plastică (suporţi de răşină) placată prin electrodepunere:
MN — model negativ; *MR* — model din răşină.

Această ultimă tehnologie constă în utilizarea unor suporturi din răşină, obţinute prin termoplastie şi cu ajutorul vidului; ulterior, suprafaţa activă a acestor suporturi se metalizează prin electrodepuneri şi în final prin finisare mecanică se aduce la cotele finale (fig. 14.6); spre deosebire de piesele din plastic ornamentale, la care depunerea metalică este

Scanned with OKEN Scanner

de 0,1—100 μ m, la matrițele pentru polistiren grosimea depunerii (în general cupru electrolitic) trebuie să depășească 1 mm.

Cu o baie de $CuSO_4$ s-au obținut depuneri specifice de 1,185 g/A.h; pentru suprafețe de 1 dm^2, la o densitate de curent de 5 A/dm^2 se depun 66,4 μm/h, fiind astfel necesare 5 ore pentru acoperiri de 1 mm grosime și respectiv 75 ore pentru 5 mm [28].

Firma TEKSID-FIAT din ITALIA are o sculărie specializată pentru obținerea matrițelor din cupru prelucrate prin electroeroziune și din aluminiu (plăci presate-extrudate) acoperite galvanic; presele de extrudare și instalațiile de acoperiri electrochimice sînt comandate cu microprocesoare, centralizat.

Cel mai utilizat material pentru confecționarea matrițelor este aluminiul, care are caracteristici termofizice ridicate, favorabile unui intens schimb de căldură (conductivitate termică mare, căldură specifică ridicată) și prezintă o rezistență mare la coroziune în contact cu aburul tehnologic de expandare și apa industrială de răcire; se prelucrează mecanic bine se polizează și se lustruiește ușor pentru finisarea suprafețelor active, are o durabilitate satisfăcătoare în exploatare și un cost acceptabil [13].

Depozitarea modelelor

După expandare este necesară depozitarea modelelor din polistiren pentru relaxarea tensiunilor interne acumulate la expandare de către fiecare granulă de polistiren care a fost jenată în creșterea ei de către vecinele sale, eliminarea umidității de 6—8% încorporată de la aburul de expandare condensat sau apa de răcire și stabilizarea compoziției chimice prin eliminarea în principal a unor componente volatile, de tipul pentanului.

Contragerea modelului în timpul depozitării (stocării obligatorii după expandare) este cu atît mai accentuată cu cît secțiunea respectivă este mai mică, densitatea mai scăzută, temperatura mediului ambiant din depozit mai ridicată și perioada de depozitare mai îndelungată.

Factorii enumerați influențează diferit mărimea contragerii modelului, cauzată în principal de eliminarea pentanului, de timpul de stocare a granulelor preexpandate, înaintea folosirii lor pentru expandare și de durata de depozitare a modelelor formate, înaintea realizării acoperirii refractare (fig. 14.7); din datele prezentate se observă că după o depozitare de 28 zile, lungimea modelului analizat s-a redus de la 184,7 mm la 183,8 mm, corespunzător conținutul de pentan micșorîndu-se de la 2 la 0,4%.

În general timpul minim de stocare, după expandare, este de 3—4 h, cînd se admite că se produce o contragere de ~0,5%, în funcție de temperatura și umiditatea spațiului de depozitare; depozitarea timp de zile sau săptămîni nu afectează dimensiunile modelului, deci mărimea contragerii, dar implică alte probleme economico-financiare [13].

Firma FORD din S.U.A. toarnă arbori cotiți pentru automobile, folosind polistiren de joasă densitate; modelele sînt obținute din granule de polistiren preexpandate, de dimensiuni mici. Se comunică o contragere la aceste modele de 0,1 in/ft (echivalent 0,06 mm/0,31 m; 1 in=$2{,}54.10^{-2}$ m și 1 ft =0,3048 m), după 30 zile de stocare, ponderea de 75% din totalul contragerii avînd loc în primele 7 zile de depozitare [8]. Pentru aceleași

Scanned with OKEN Scanner

modele, destinate turnării arborilor cotiți din fontă cu grafit nodular, la o temperatură maximă din depozit de 60°C, la o lună de depozitare, se indică o contragere de 0,0083 mm/1m.

Pentru obținerea unei contrageri reduse se recomandă utilizarea unui polistiren de mare densitate, cu un conținut ridicat de pentan și o durată

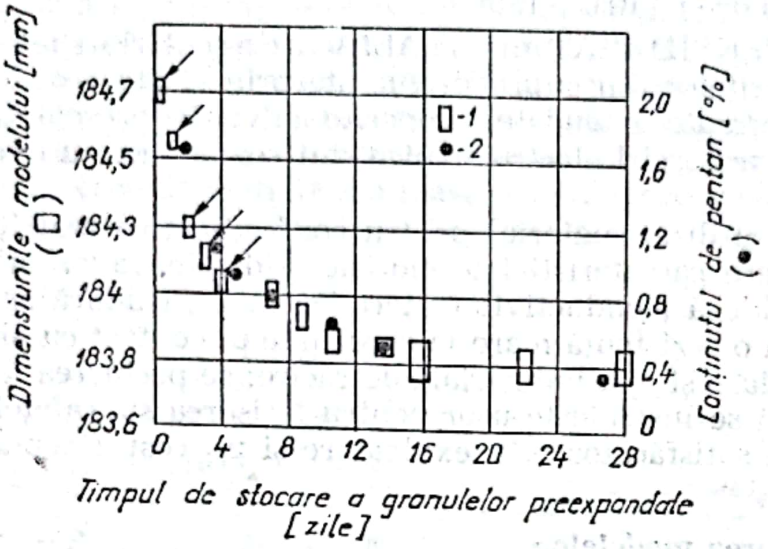


Fig. 14.7. Stabilitatea dimensională (contragerea) a modelelor din polistiren (săgețile indică faptul că măsurarea modelului s-a executat imediat după formare-expandare):
1 — dimensiunea modelului; *2* — conținutul de pentan.

maximă de stocare-depozitare pînă la acoperirea refractară, la ~25°C, de 2 luni de zile; în cazul utilizării polimetil-metacrilatului (PMMA) se indică o stocare de numai 0,5—2 zile, din cauza contragerii specifice mai reduse și deci a stabilității dimensionale mult mai mari pe care o posedă.

6. Asamblarea modelelor

Asamblarea subansamblelor de model între ele, atașarea modelelor de rețea și maselote se poate executa prin lipire cu adezivi, lipire cu topire zonală în suprafața de asamblare (termo-welding) și lipire cu aport de căldură (topire zonală) și presare (pressure glusing) [6, 7, 8, 13].

Pentru lipirea cu adeziv sînt utilizați roboți care pe suprafața de contact depun adezivul prin pulverizare (spray), scufundarea semimodelului într-o baie cu adeziv cald (~220 F) sau „tipărirea" cu ajutorul unei benzi suport speciale cu strat de adeziv (pattern assembly of printing); esențial este depunerea unui strat de adeziv foarte exact dozat (în orice caz fără exces), astfel încît să nu rezulte bavuri în zona de lipire și să nu producă perturbații operației propriu-zise de gazeificare [17]

Topirea zonală se realizează prin radiație sau prin contactul componentelor din polistiren cu elemente metalice încălzite (plate sau profilate în funcție de suprafața de lipire respectivă a componentelor), dar după realizarea topirii, lipirea (presarea) trebuie făcută în timpi de ordinul a 1 s, operație care exclude munca manuală [6].

Scanned with OKEN Scanner

Productivitățile sînt deosebit de ridicate; astfel un robot, supravegheat de un singur muncitor realizează 150 modele pe oră, fiecare model din patru componente, deci 450 lipiri pe oră prin termoplastie (topire zonală și presare). Linii complet robotizare de asamblare, și acoperire funcționează la firmele FORD, GENERAL MOTORS din S.U.A. și FIAT din ITALIA [6, 13].

7. Acoperirea modelelor cu vopsea refractară

Acoperirea modelelor de polistiren cu vopseaua refractară *(pattern coating, painting)* în vederea realizării unei membrane elastice și în același timp permeabile la interfața aliaj-model care se gazeifică — nisip fără liant reprezintă una din fazele critice ale procedeului, operație care asigură calitatea piesei turnate (chiar formarea ei ca atare) și deci cauza pentru care este realizată exclusiv numai mecanizat și automatizat; pentru procedeul cu crustă ceramică, acoperirea cu vopsea coincide cu operația propriu-zisă de realizare (formare) a formei-coajă [7].

Depunerea acoperirii refractare se face prin pensulare, scufundare, pulverizare (spray); în general, modelul susținut de o mînă mecanică (manipulator, cu suport tip jug) este deplasat convenabil în fața duzelor de spray astfel încît, orificiile și cavitățile modelului să fie uniform acoperite (fig. 14.8) [6, 13, 17]. Aceste automate (roboți, completuri tehnologice) sînt dezvoltate în numeroase variante, cu funcționări specifice în funcție de particularitățile modelului și reprezintă unul din punctele de investiții ale procedeului, cu o importanță tehnologică mult mai mare, comparativ cu procedeele clasice.

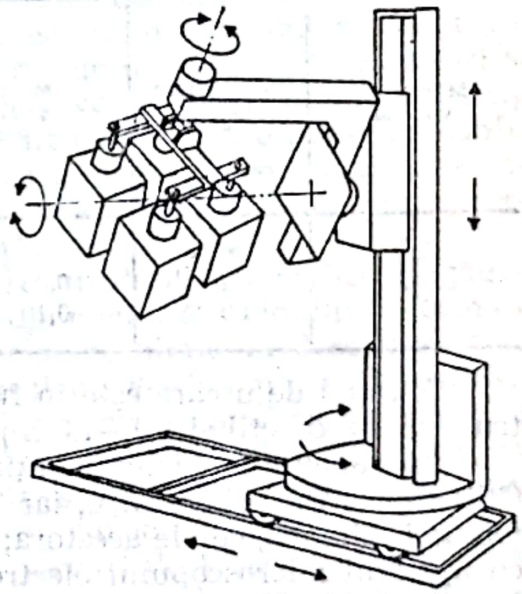


Fig. 14.8. Schema unui manipulator tip robot pentru vopsirea modelelor.

Sînt indicate numeroase rețete de vopsele alcoolice, cu apă (silicat) sau pe bază de rășini ca liant și cu material refractar pulverulent de tipul: marșalită, cuarț stabilizat termic, grafit, zircon, mulit, magnezit; solventul vopselei poate sau nu dizolva superficial modelul din polistiren.

Modelul se vopsește fie direct cu suprafața obținută de la expandare, fie după operații preliminarii de pregătire: acoperirea porilor (cu parafină, cu praf de grafit, cu praf de mangal, marșalită, emulsii de silicat de sodiu, etil sau rășini) și operații de șlefuire-lustruire la suprafețele care impun netezimi ridicate direct din turnare.

Dintre rețetele de acoperire se pot cita:

— 20% praf de grafit în soluție de etanol, concentrație 40%;
— zircon în soluție alcoolică [6, 13];
— (70—90)% nisip zircon (10—30)% nisip cuarțos, 1—3% rășină fenolică, soluție în metanol [29];

Scanned with OKEN Scanner

— praf de magnezită în emulsie cu dextrină în raport 7,75 : 1 părți;
— praf de zircon, oxid de aluminiu, oxid de fier cu emulsie de rășină fenolică sau dextrină;
— amestec de silicați în fenol modificat sau acetat polivinilic [17, 12].

Întărirea vopselei se face prin simpla evaporare, la cele pe bază de alcool (sau și o flambare), autoîntărire la cele pe bază de rășini, prin încălzire (uscare) în aer sau în cuptor cu o atmosferă controlată la cele pe bază de apă; încălzirea pentru uscare nu trebuie făcută peste 50—60°C, pentru a nu deteriora modelul [8].

Întărirea peliculei de vopsea trebuie să fie astfel realizată încît să nu-i reducă elasticitatea și care să-i permită să preia distorsiunile modelului fără crăpături și exfolieri și totodată să-și realizeze rolul tehnologic deosebit la gazeificarea modelului, particularități menționate și care, de fapt, reprezintă esența procedeului [6, 7].

Tabelul 14.4. **Tipuri de acoperiri refractare**

Mărci de vopsea	Solvent	Material refractar	Liant
A	Alcool	$SiO_2+Al_2O_3$	Acestat de vinil
B	Alcool	Amestec de silicați	Fenol modificat
C	Alcool	SiO_2	Acestat de vinil

Tabelul 14.5. Caracteristici tehnologice ale acoperirilor refractare

Marca de vopsea	Porozitatea totală %	Mărimea porilor μm	Permeabilitatea = timpul de scurgere a azotului, s			
			Înainte de turnare		După turnare	
			1,5 . . . 0 bar	0,3 . . . 0 bar	1,5 . . . 0 bar	0,3 . . . 0 bar
A	36	10	21	10	56	36
B	32	0,05 . . . 6,0	43	25	—	—
C	58	0,10 . . . 30	102	42	200	137

Timpul de uscare este în funcție de liantul utilizat: 20—25 min pentru silicatul de etil și 1,0—1,5 h pentru silicatul de sodiu.

În tabelul 14.4 sînt menționate trei compoziții omologate la firma CERAMCO Inc. din S.U.A., iar în tabelul 14.5 sînt date o serie de caracteristici tehnologice ale acestora; cercetarea peliculelor de vopsea s-a făcut cu ajutorul microscopului electronic (tehnica SEM) iar caracteristicile au fost determinate printr-o serie de probe tehnologice special dezvoltate în acest sens [17; 12]. Aceste acoperiri s-au cercetat pentru o densitate de ~40°Bé; compozițiile A și C, după întărire, au prezentat o structură fagure cu pori mari, globulari (max. de 307 μm pentru A și 430 μm pentru C), iar compoziția B o structură fină, lamelară, cu pori alungiți (dimensiunea max. de 300 μm).

În toate cazurile vopsirea s-a realizat prin imersarea modelelor în vopsea; s-au utilizat modele paralelipipedice (15 × 20 × 70) mm, peliculele de vopsea avînd o suprafață de (20 × 70) mm.

Pentru determinarea permeabilității, după turnare, peliculele de vopsea au fost desprinse din formă, de pe suprafața probelor turnate; permea-

Scanned with OKEN Scanner

bilitatea s-a măsurat prin timpul de scurgere al azotului dintr-un recipient de volum constant, etanșat în partea superioară chiar de către pelicula de vopsea cercetată, odată cu modelul de polistiren și apoi desprinsă din formă. În recipient sînt create suprapresiuni de 1,5 și 0,3 bar, permeabilitatea măsurîndu-se prin timpul pînă la care presiunea azotului ajunge la valoarea de 1 atm; aparatul asigură o reproductibilitate a rezultatelor de $\pm 5\%$.

8. Formarea

Operația de formare constă din trei etape tehnologice distincte:

1) așezarea modelului, centrat, în cutia de formare;

2) împachetarea, acoperirea, modelului cu nisip uscat, fără liant;

3) îndesarea nisipului în jurul modelului, în scopul, de data aceasta, nu pentru realizarea cavității ca și în cazul clasic, ci pentru a realiza o mulare cît mai perfectă a nisipului friabil pe suprafața modelului; procedeul face parte din grupa procedeelor de turnare de precizie, astfel încît în final, aliajul solidificat în piesă reproduce absolut strict netezimea și starea geometrică a suprafeței modelului.

Pentru formare, în locul perechii de rame se utilizează cutii metalice tip container *(moulding boxes)*, cilindrice sau poligonale, turnate sau sudate, din tablă de 5—12 mm, care permit manipularea mecanizat și integrarea tehnologiei de formare-turnare pe instalații tip carusel, cu posturi specializate de lucru; spre deosebire de ramele clasice, la cutiile de formare dispare necesitatea utilizării sistemelor nefiabile de asamblare-centrare (tije-bucșe de centrare), care scoteau prematur din uz aceste SDV-uri și în plus o aceeași tipodimensiune de cutie (eventual a unei instalații tip carusel) se poate utiliza pentru o gamă mult mai largă de piese, de configurații și dimensiuni diferite, din cauză că la acest procedeu dispare importanța tehnologică a grosimii peretelui formei (rezistența mecanică, permeabilitatea, zona de condensare a umidității etc.).

Cutiile de formare au pereții simpli sau dubli, cu orificii și găuri, fie pentru aerisire, fie pentru utilizarea suplimentară a vidului la formare (îndesare) sau la turnare (absorbția gazelor rezultate la descompunerea polistirenului); aceste orificii, cu diametrul de 6—20 mm, sînt realizate prin tehnicile cunoscute de la procedeul V, cu plasă metalică, prin care să nu treacă nisipul. De exemplu, pentru turnarea unui bloc de motor, cu patru cilindri, cu rețea de turnare centrală, sînt utilizate cutii de formare cu diametrul de 0,75 m, înălțimea de 1 m, capacitatea de 1 t nisip, din tablă de oțel de 8—9,5 mm grosime, cu nervuri de întărire exterioare și interioare (pentru menținerea nisipului) și suport de atașare a vibratorului [7].

Deși pare simplă, plasarea modelului în cutie, la producția de serie mare, se face exclusiv numai mecanizat și automatizat; se menționează obligativitatea realizării pe fundul cutiei de formare a unui pat inițial de nisip uscat, fără liant, pe care apoi se așază centrat modelul din polistiren.

Manipularea modelului, în scopul nedeteriorării acestuia, se realizează cu mîini mecanice (manipulatoare) sau suporți tip jug, adecvat profilați și construiți în acest sens.

Operația de formare propriu-zisă se aseamănă cu operația de împachetare a formelor-coajă de la turnarea de precizie cu modele ușor fuzibile.

Scanned with OKEN Scanner

Completarea cu nisip a cutiei și ambalarea modelului, de asemenea, pentru obținerea unei productivități ridicate și asigurarea unei calități corespunzătoare a piesei turnate, se face în mare parte mecanizat și automatizat; se realizează astfel precizii de $\pm$ (1 . . . 5) kg nisip la o cutie de 1 t nisip, ceea ce corespunde la o diferență maximă de nivel a nisipului, deasupra modelului, de 2—6 mm, umplerea durînd 10—20 s [7].

În scopul mulării perfecte a nisipului pe model, în special în zonele cavităților acestuia (la miezuri), introducerea nisipului în cutie, pe lîngă curgerea prin cădere liberă, se face pneumatic pe principiul stratului fluidizat sau mecanic (cu șnecuri, benzi, elevatoare), nisipul fiind ridicat în jurul modelului printr-o serie de conducte (tuburi) flexibile, cu lungimea bine determinată, în funcție de construcția modelului.

Nisipul din cutie trebuie să ocupe un volum de sub circa 49% din volumul util al ramei respective, pentru a nu produce deformarea modelului; la formare, nisipul uscat trebuie să aibă temperatura sub 75°C, pentru a nu deteriora modelul.

În general la turnarea cu modele din polistiren forma nu se îngreunează; din această cauză grosimea stratului de nisip de deasupra modelului capătă o nouă importanță tehnologică, modificîndu-se totodată și corelația cunoscută între presiunea metalostatică și viteza de curgere. Se observă că la turnarea cu modele din polistiren rezultate mai bune se obțin, pentru aceleași tipuri de piese turnate, în cazul măririi înălțimii metalostatice.

Completarea îndesării, tasării gravitaționale a nisipului de la curgerea liberă a acestuia în ramă se face prin vibrare, scuturare, presare, îngreunare și vidare; operația de vibrare este obligatorie în cazul pieselor cu cavități, deci la care se impune formarea de miezuri, prin tasarea nisipului de împachetare [13].

Netezimea ridicată a suprafeței modelului se obține prin diferite tehnici; de exemplu, în Japonia se utilizează modele din polistiren, placate la exterior cu folie de plastic.

Placarea se face la expandare, aplicarea foliei pe pereții activi ai matriței realizîndu-se cu tehnici asemănătoare formării de la procedeul V; nu sînt prezentate date referitoare la tehnica de acoperire ulterioară cu vopsea a acestor tipuri de modele [30].

Măsurarea gradului de îndesare a nisipului, precum și aprecierea capacității de formare a nisipului fără liant *(flowability)*, inclusiv capacitatea acestuia de a forma miezuri se realizează cu o serie de metode și aparate, special dezvoltate în acest scop [28]; în fig. 14.9 și fig. 14.10 sînt prezentate două astfel de dispozitive, care au un principiu de funcționare oarecum similar testerului tip VICKAT de la amestecurile cu autoîntărire, fluide (AFA).

În cazul modelelor complexe, cu orificii complicate, acestea se pot umple cu nisip uscat și ulterior să se realizeze apoi operația de împachetare a modelului în nisipul din cutia de formare; se obține astfel o acuratețe superioară a compactității nisipului în golurile modelului, la piesele turnate care în mod obișnuit necesită miezuri de formă deosebită.

Eficiența vibrării este în funcție de parametrii ei (amplitudine, frecvență, durată) și de compatibilitatea acestora cu particularitățile modelului [13]; se insistă asupra unor elemente tehnice specifice: direcția de vibrare (corelată cu poziția cavităților din model și deci a miezurilor din nisip), grosimea tablei cutiei de formare (pentru asigurarea efectului de rezonanță) și punctul de aplicare a vibrării în raport cu centrul de greutate

Scanned with OKEN Scanner

al cutiei, în scopul obținerii unei intensități maxime de vibrare-îndesare la consumuri minime de energie.

Depășirea gradului optim de îndesare prin vibrare conduce la apariția de microcavități în nisipul din cutie, zone de nisip cu grade diferite de îndesare și defecte de turnare la piese, de tipul crustelor, reprizelor, suflurilor superficiale [7]. Se menționează de asemenea utilizarea vibrării cu parametri diferiți pe parcursul umplerii cutiei cu nisip; astfel, după o

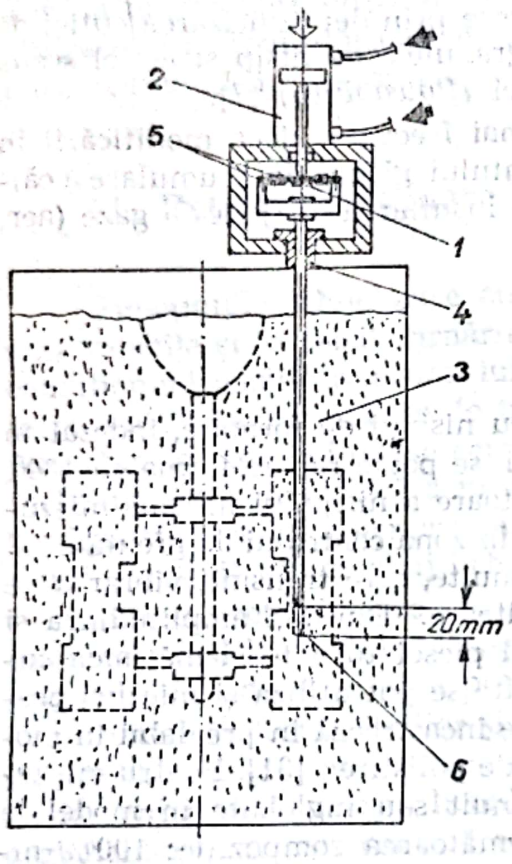


Fig. 14.9. Instalația pentru determinarea gradului de îndesare al nisipului fără liant:

1 — tijă piston pneumatic; *2* — cilindru pneumatic activ pe ambele fețe; *3* — ac de sondă; *4* — bucșă de etanșare; *5* — traductor electromagnetic sau tensometric; *6* — deplasarea sondei pe $h=20$ mm.

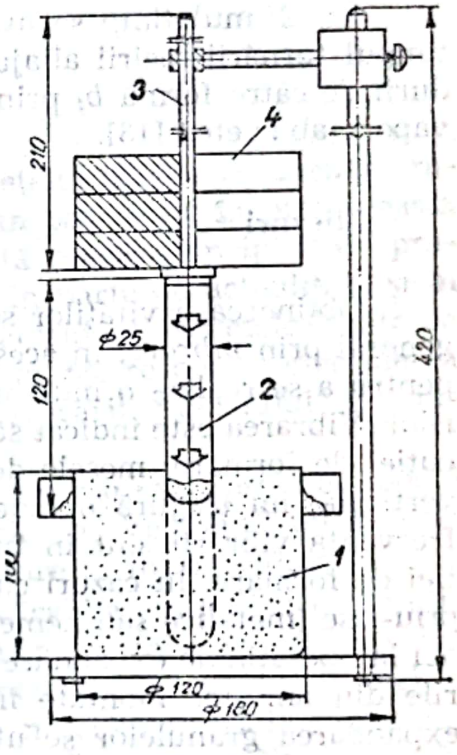


Fig. 14.10. Instalație pentru determinarea densității aparente și a capacității de formare (copiere a formei modelului):

1 — nisipul fără liant; *2* — sondă; *3* — tijă; *4* — greutăți de testare.

vibrare intensă la început, la firma FORD din S.U.A., se reduce apoi frecvența și amplitudinea, în scopul ca să dea posibilitate modelului să se relaxeze (destindă) și nisipului să copieze fidel distorsiunile acestuia, produse ca urmare a solicitărilor din timpul operației de formare.

Rigidizarea formei se accentuează prin utilizarea vidului; aplicarea unei depresiuni la cutia de formare se face după regulile cunoscute de la formarea cu vid (procedeul V), prin aceasta obținîndu-se scăderea presiunii în formă în timpul gazificării modelului, ca urmare a absorbției vaporilor de stirol. Sînt utilizate depresiuni de 0,1 la 0,7 bar, în funcție de tipul aliajului turnat; de exemplu, pentru piese din aliaje cu baza de aluminiu sînt folosite depresurizări ale cutiei de 50—60 mmHg [30].

Scanned with OKEN Scanner

9. Vidarea formei

Tehnologia REPLICAST dezvoltată de firmele, SCRATA și FOSECO pentru piese din oțel prevede aplicarea vidului la formă *(vacuum assistance)* [7]; în acest fel se pot utiliza modele din polistiren de mare densitate, cu suprafețe netede și stabilitate dimensională ridicată.

Vidul se aplică numai după terminarea operației propriu-zise de formare (vibrare, scuturare, îndesare), deoarece prin depresurizarea cutiei de formare cresc forțele de frecare dintre granulele de nisip și astfel scade capacitatea acestuia de mulare pe model *(flowability)* [7].

În ultimul timp se avansează tot mai frecvent ideea modificării în timpul turnării-răcirii aliajului a coeficientului global de acumulare a căldurii de către formă b_f prin absorbția — insuflarea dirijată de gaze (aer, vapori, abur etc.) [13].

Miezuri

Obținerea cavităților se realizează cu nisipul de formare, îndesat în general prin *vibrare;* în acest scop, uneori, se poate rabate forma cu 180°, pentru a se realiza o îndesare corespunzătoare a nisipului în zona miezurilor. Vibrarea este indicat să fie realizată în zona centrului de greutate al cutiei de formare; mesele de vibrare obișnuite, care transmit vibrarea pe verticală, nu asigură o îndesare satisfăcătoare. Durata, amplitudinea și frecvența vibrării sînt în funcție de tipul piesei turnate și mărimea cutiei de formare. În cazuri cu totul deosebite se pot utiliza și miezuri propriu-zise (metalice sau nemetalice), care se încastrează în prealabil în model la operația de expandare a granulelor de polistiren [31]. Pentru miezurile din amestec montate în formă, obișnuit sau înglobate în model la expandarea granulelor se utilizează și următoarea compoziție: 100% nisip, 1—3% polistiren și 3—5% dizolvant (amestec 3 : 2 white-spirt și butilacetat). Butilacetatul reprezintă un dizolvant standard pentru polistiren, mai puțin toxic ca toluenul, benzolul, tetraclorura de carbon etc.

Prepararea amestecului de miez constă în amestecarea nisipului uscat cu pulberea de polistiren, urmată de adăugarea dizolvantului; după miezuire se execută operația de uscare prin încălzire la 180—200°C. Se obțin rezistențe la tracțiune de 10—30 daN/cm², miezurile respective avînd avantajul că nu sînt higroscopice și la dezbatere nu impurifică nisipul formei, liantul arzînd în totalitate în timpul turnării; pentru miezuri masive se recomandă soluția miezurilor coajă [32].

10. Nisipul de formare

În general se utilizează nisip cuarțos obișnuit (cu min. 85% SiO_2), cu indicele de finețe între 25—50 unități AFS; acuratețea dimensională a piesei turnate depinde de granulația nisipului și în special de amplitudinea de vibrare la îndesare [4].

Scanned with OKEN Scanner

Permeabilitatea ridicată a formei se asigură prin utilizarea unui nisip cu granule sferice, cît mai uniforme ca mărime; s-a constatat, de exemplu, că permeabilitatea a fost de > 500 unități cînd s-a utilizat un nisip cu finețea de 25 unități AFS și de 180 cînd granulația a fost mai mică, de ordinul a 45—50 AFS [7; 8]. Analiza nisipului după turnare indică faptul că acesta se îmbogățește cu circa 8—10% substanțe carbonice solide, condensate, din produsele de descompunere ale modelului din polistiren, dar acestea nu necesită operații suplimentare de regenerare și gradul de reutilizare al nisipului oricum este mai mare decît la procedeul V, avînd în plus, avantajul lipsei resturilor de folie nearsă.

11. Rețeaua de turnare

Funcțiunile tehnologice cunoscute ale rețelei clasice de turnare rămîn valabile și în cazul turnării cu modele din polistiren, în plus aceasta condiționînd gazificarea modelului; din această cauză, principiile de proiectare ale rețelelor clasice de turnare rămîn în parte de actualitate și în plus sînt dezvoltate intense cercetări care să elucideze aspectele legate de însăși natura metalurgică a procedeului propriu-zis, respectiv menținerea configurației cavității-amprentă în timpul gazificării modelului și umplerii concomitente cu aliaj lichid.

În locul rețelelor propriu-zise din polistiren, care se lipsesc de model înaintea vopsirii acestuia, se pot utiliza o serie de alte soluții tehnice fie originale, fie adaptate de la procedeul de turnare în forme vidate.

Astfel, în locul pîlniilor și canalelor gazificabile din polistiren se utilizează modele din amestecuri pe bază de rășini, astfel dimensionate încît la contactul cu aliajul lichid să ardă în întregime și nisipul formei la dezbatere să nu mai conțină resturi care să necesite operații suplimentare de sfărîmare sau regenerare [34]. Alte rezolvări privesc dispunerea în jurul modelului a alimentatoarelor, care să asigure corelația viteză de curgere-viteză de ardere a modelului; marea majoritate a soluțiilor propuse reprezintă alimentări indirecte, cu atacuri laterale [13; 33].

12. Turnarea

Debitul de turnare se corelează cu caracteristicile tehnologice ale formei și modelului (înălțimea metalostatică), astfel încît să realizeze gazeificarea modelului; forma nu se mai îngreunează ca la turnarea clasică, înălțimea stratului de nisip însă, care acoperă modelul în partea superioară a containerului, fiind majorată [13]; în timpul turnării se poate aplica o depresiune în cutia de formare (vid de 0,4—0,8 bar), în scopul absorbției gazelor și măririi fluidității aliajului (în special la cele cu baza de aluminiu).

Eliminarea operației de consolidare a formei simplifică mult tehnologia de turnare și se pretează larg la mecanizare și automatizare.

Scanned with OKEN Scanner

13. Dezbaterea

Etapa tehnologică de dezbatere, care la formare-turnare clasică ocupă suprafețe însemnate, cu utilaje greoaie, consumuri energetice ridicate și productivități scăzute, la turnarea cu modele gazeificabile este mult simplificată; asemănătoare cu dezbaterea formelor vidate, în acest caz nu mai sînt nici resturi nearse de folie de polietilenă și nici resturi de miezuri, care să necesite sfărîmarea.

14. Curățirea

Curățirea se realizează prin metodele tradiționale, cu manoperă mult micșorată datorită particularităților menționate ale procedeului: lipsa bavurilor, lipsa miezurilor propriu-zise (cu mărci), lipsa înclinărilor și racordărilor constructive, adaosuri tehnologice și de prelucrare mult reduse etc.; sablarea în general se realizează cu nisip metalic (alice) pentru obținerea și a unei oarecare ecruisări superficiale a suprafețelor piesei brute, care nu mai suferă prelucrări mecanice.

Îndepărtarea rețelei de turnare se face prin rupere cu dispozitive tip prese și poanson, prin tăiere mecanică, cu plasmă sau cu arc [35].

15. Defecte de turnare

Piesele din oțel cu carbon scăzut turnate în forme pline cu modele din polistiren (tip REPLICAST FM) au o structură specifică și anume la interfața cu forma prezintă o structură perlitică (unde s-a constatat o mărire de circa două ori a carbonului față de conținutul mediu), urmată de o zonă feritică dispusă acicular; această structură anormală conduce la o micșorare importantă a rezilienței, atît în stare brută de turnare, cît și după o eventuală recoacere de omogenizare. În aceste cazuri fractogramele au indicat o rupere fragilă [36]. Pentru oțelul cu carbon scăzut se admite că are loc o carburare superficială cu 0,1—0,3% C, realizată aleatoriu, neuniform și care constituie un defect tip pentru această categorie de piese. La temperaturi ridicate de turnare apare în sistem carbonul în stare născîndă *(in stato nascendi)*, denumit impropriu „carbon lucios" *(the lustrous carbon)*. Se știe că activitatea acestuia (coeficientul de difuzie) este mai mare decît cea a cărbunelui obișnuit, sub formă de grafit; valoarea acestui coeficient este cu un ordin de mărime superior celui considerat la tratamentul termochimic de carburare. Grosimea stratului carburat nu este uniformă pe perimetrul peretelui piesei turnate și conduce la dificultăți în operațiile ulterioare de prelucrare. Aceste defecte tipice *(the carbon pick-up* sau *pièges à carbone)* reprezintă printre puținele puncte negative ale procedeului, semnalate deocamdată.

De exemplu la turnarea pieselor din fontă cenușie aceste defecte au fost eliminate cînd s-a trecut de la polistirenul cu densitatea de 1,2—1,6 pcf la cel ultraușor de sub 0,8 pcf [3]; pentru oțelul cu carbon scăzut se obține o carburare superficială de 0,1—0,3% C la utilizarea modelelor

Scanned with OKEN Scanner

tip *EPS* cu densitatea de 1,2—1,6 pcf (polistiren expandat obișnuit), care s-a redus la sub 0,05% C cînd au fost utilizate modele din PMMA (polimetil-metacrilat) cu densitatea de 1,2—1,5 pcf. Similar, rezultate mai bune decît polistirenul obișnuit, s-au obținut și la utilizarea copolimerului stiren-acrilonitril [7, 13] (pcf = pound per cubic foot; 1 pcf = 1 lb/ft^3 = = 16,0185 kg/m^3).

16. Linii de turnare

În mod cert s-a ajuns la concluzia că anumite operații se impun a fi executate exclusiv robotizat, în caz contrar neobținîndu-se piese turnate de calitate; dintre aceste operații se amintesc cele enumerate cel mai frecvent în literatură de specialitate: lipirea modelelor, vopsirea modelelor, turnarea, dezbaterea, îndepărtarea rețelelor și a maselotelor [37].

Numai așa, de exemplu, se poate obține un control eficient al operației de vibrare la formare (controlată pe cele trei direcții, utilizarea pentru aceeași formă a patru frecvențe de vibrare și trei mărimi ale amplitudinii); la firma FATA-TEKSID din ITALIA se obțin productivități de 25 cicluri de vibrare pe oră pentru piese deosebit de complicate (blocuri de motor și chiulase) și de 40—50 cicluri, pentru piese mai puțin complicate [6].

La conducerea procesului tehnologic cu calculatorul se impune urmărirea — prelucrarea și modificarea numai a patru parametri tehnologici și anume: 1) cantitatea de nisip necesară la formarea unei rame-container; 2) regimul de îndesare prin vibrare; 3) amplasarea rețelei de turnare (în special înălțimea metalostatică dată de poziția pîlniei de turnare); 4) debitul de turnare și cantitatea de metal turnată [38].

17. Tehnica securității muncii și protecția mediului înconjurător

Polistirenul are grad redus de toxicitate, dar trebuie avut în vedere faptul că el este combustibil și deci prezintă un potențial pericol de inflamabilitate; vaporii de pentan sînt inflamabili, la un amestec cu aerul, în concentrații de 1,4—7,8% (volume).

Ca exemplu, în acest sens, se indică faptul că la turnătoria firmei FIAT de la MESSENA din ITALIA, liniile de turnare sînt prevăzute cu captatoare (hote), cu incineratoare ceramice, dotate cu arzătoare catalitice cu platină, care realizează combustia totală a vaporilor de polistiren; o altă soluție este trecerea gazelor arse rezultate de la turnare (cu ~ 600°C) prin cicloane, cu amestec de ploaie de apă și bioxid de carbon [9; 17].

18. Costuri de fabricație

Diferența de cost pentru obținerea modelului utilizat la turnarea clasică la formele din amestec (din lemn sau metalic) și această nouă tehnologie rezultă în primul rînd din costul materiei prime (lemn și aliaje de

Scanned with OKEN Scanner

aluminiu sau polistiren) și în al doilea rînd din manopera de confecționare propriu-zisă [14]

Diferența de cost pentru realizarea modelului utilizat în tehnologia clasică și cea nouă apare odată din costul materiei prime (polistiren și lemn) și a doua oară din metodele specifice de prelucrare, de fabricare a modelului.

La noua tehnologie sînt utilizate dispozitive și mașini cu puteri instalate mult mai mici decît cele folosite în modelăriile tradiționale; confecționarea modelelor din polistiren prin tăierea și lipirea plăcilor sau a blocurilor (tăierea cu fir metalic încălzit electric la 400—500°C sau pînză de ferăstrău, cu viteze de ordinul a 30 m/s) de polistiren se realizează cu dispozitive extrem de simple și consum redus de alte substanțe (adezivi, armături).

În prezent 1 kg de polistiren costă circa 90 dolari S.U.A.; pentru o aceeași piesă, modelul din polistiren fiind de ~40 ori mai ușor decît cel din lemn, costul lui se reduce la 1/4 . . . 1/5 față de cel clasic.

Modelele din spumă de polistiren (polistiren expandat — PSE) se realizează la un cost de 20—40% din costul modelelor din lemn utilizate la turnarea clasică; costul de fabricație al garniturii de model se micșorează substanțial din cauză că tehnologia nouă de turnare cu modele din polistiren nu mai necesită și confecționarea cutiilor de miez și utilizarea miezurilor propriu-zise, orificiile, găurile și interiorul piesei turnate obținîndu-se direct la turnare, prin simpla volatilizare-gazeificare a modelului.

Cheltuielile totale de fabricație a pieselor turnate în forme din nisip cu modele din polistiren sînt cu ~30% mai mici decît în cazul clasic al utilizării miezurilor și formelor din amestec.

Cheltuielile pentru realizarea SDV-urilor și a utilajelor necesare procedeului POLICAST — REPLICAST FM (forme pline) sînt de 2—4 ori mai mici decît în cazul turnării în forme din amestec, la crud.

Investițiile pentru utilaje, în cazul acestui nou procedeu, sînt cu 25—50% mai reduse cu toate că noua tehnologie beneficiază de mecanizare-automatizare de pînă la 98% față de cazul clasic, care are o integrare de numai 18—28% (tabelul 14.6).

Tabelul 14.6. **Costuri de fabricație, comparative, pentru diferite procedee moderne de formare — turnare [9]**

Procedeul de formare-turnare	Raportul între masa formei și a piesei turnate	Costuri în lire sterline, pentru:	
		1 kg de materiale de formare	Materiale pentru 1 kg de piese turnate
Replicast CS	1 : 10	0,34	0,034
Turnarea în forme coajă cu liant termoreactiv (tip CRONING)	1,5 : 1	0,09	0,135
Turnarea în forme din amestec cu rășini furanice	3 : 1	0,027	0,081

În tabelul 14.7 sînt menționate o serie de comparații ale costurilor de fabricație, prin turnare, estimate pentru țara noastră; rezultă măriri ale eficienței de pînă la 8—10 ori, ceea ce justifică pe deplin eforturile de asimilare ale acestei moderne tehnologii.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 14.7. **Eficiența utilizării modelelor gazificabile (M.G.) în locul celor clasice (M.C.)**

Parametrul	Model clasic		Model gazificabil	
	Unități fizice	Unități valorice	Unități fizice	Unități valorice
I. La confecționarea modelului 1) Consumul de material	20 . . . 30 dm³/tpb	30 . . . 40 lei/tpb	3 . . . 4 kg/tpb	75 . . . 100 lei/tpb
2) Confecționarea SDV-ului	—	—	2 . . . 3 h/tpb	30 . . . 45 lei/tpb
3) Confecționarea modelului	20 . . . 30 h/tpb	300 . . .450 lei/tpb	0,5 . . . 1,0 h/tpb	7,5 . . . 15 lei/tpb
Total model	20 . . . 30 h/tpb	330 . . . 495 lei/tpb	2,5 . . . 4,0 h/tpb	112,5 . . . 160 lei/tpb
II. La realizarea formelor 1. Consumul de materiale de formare	2 . . . 4 t/tpb	600 . . . 2 400 lei/tpb	0,1 . . . 0,3 h/tpb	10 . . . 30 lei/tpb
2. Manoperă de formare	5 . . . 10 h/tpb	75 . . . 150 lei/tbp	0,5 . . . 1,0 h/tpb	7,5 . . . 15,0 lei/tpb
Total formare	5 . . . 10 h/tpb	675 . . . 2 550 lei/tpb	0,5 . . . 1,0 h/tpb	17,5 . . . 45,0 lei/tpb
III. La curățirea piesei Manoperă de curățire	5 . . . 10 h/tpb	75 . . . 150 lei/tpb	0,5 . . . 1,0 h/tpb	7,5 . . . 15,0 lei/tpb
Total I+II+III	30 . . . 50 h/tpb	1 080 . . . 3 195 lei/tpb	3,5 . . . 6,0 h/tpb	137,5 . . . 220 lei/tpb

19. Perspective și cercetări în viitor

Din analizele realizate, în acest domeniu, de I.B.F. (INDUSTRIAL BRITISH FOUNDRYMAN — MAREA BRITANIE) rezultă următoarele noi direcții pentru cercetările tehnologice legate de acest modern procedeu special de turnare: 1) procesul de expandare; 2) tratarea aliaju-

Scanned with OKEN Scanner

lui lichid în formă, prin substanțe încorporate în model, la expandarea acestuia;

3) industria de adezivi pentru lipirea componentelor modelelor, confecționate prin tăiere-decupare;

4) industria de vopsele și acoperiri refractare ale modelului, care să condiționeze procesul de grafitizare;

5) noi sorturi de nisip, pentru utilizarea lui în condițiile lipsei liantului și al formării prin simpla curgere (friabilitate);

6) noi tehnici de dezbatere-curățire;

7) noi fluxuri și tehnologii de obținere a pieselor turnate, cu noi turnătorii simplificate ca sectoare productive și condiții bune de muncă în sectoarele calde.

BIBLIOGRAFIE

1. MĂRGINEAN, I., BRATU, C. și ȘTEFĂNESCU, F. Cercetări privind utilizarea modelelor gazeificabile la obținerea pieselor turnate. Reșița, Comunicarea la Conferința Națională de Turnătorie, mai 1987.
2. SOFRONI, L., BRATU, C., ȘTEFĂNESCU, F. și MĂRGINEAN, I. Tendințe pe plan mondial privind turnarea aliajelor în forme cu modele gazeificabile. În: Metalurgia, 39, nr. 7, 1987, p. 343—349.
3. MOLL, N. și JOHNSON, D. Eliminating the lustrous carbon defect with a new mouldable foam. În: The British Foundryman, dec., 1986, p. 458—464.
4. GORIA, C. A. ș.a. Molding of iron castings with evaporative polystyrene foam patterns. În: Metallurgical Science and Technology, nr. 1, 1986, p. 41—52.
5. SHROYER, H. F. Patent S.U.A. nr. 2830343 din 1958.
6. GORIA, C. A. ș.a. Developing Equipment for policast Lost Foam Moulding. În: Foundry Trade Journal, nr. 12, 1985, p. 188—196.
7. CLEGG, A. J. Expanded Polystyrene Moulding. În: Foundry Trade Journal, nr. 12, 1985, p. 177—187 și 196.
8. SIEBEL, K. MARTHA și KOTZIN, L. EZRA. Rvaporative Pattern Casting; The Process and its Potential. În: Modern Casting, ian., 1986, p. 31—34.
9. BROWN, J. R. The REPLICAST Process. În: La Fonderie Belge, nr. 3, 1984, p. 9—15.
10. DIETER, H. B. și PAOLI, A. J. Sand without binder for making full mould castings. În: The British Foundryman, nov., 1968, p. 413—427.
11. * * * Procédés de moulage nouveaux. În: Fonderie — Fondeur d'aujourd'hui, nr. 43, mart., 1985, p. 17—18.
12. HUSKONEN, W. D. New Developments Spur Interest in Evaporative Pattern Casting Process. În: Foundry management and technology, nr. 2, 1987, p. 34—38.
13. * * * Procédé REPLICAST. În: Fonderie — Fondeur d'aujourd'hui, nr. 43, mart., 1985, p. 18—19.
14. WITTMOSER, A. Piese turnate obținute prin turnare în forme pline. În: Metalurgia, 21, nr. 6—7, 1969, p. 425—426.
15. SIEBEL, M. ș.a. În: Modern Casting, 1986, nr. 1, p. 31—34 și R.J. TOLP, nr. 7, 1986, ref. 253.
16. * * * Fonderia con profitto. În: La Fonderia Italiana, nr. 11—12, 1985, p. 15—18.
17. PORTALIER, R. și CHARBONNIER, J. Procédé de moulage des alliages d'aluminium avec modèle gazéifiable. În: Hommes et Fonderie, nr. 2, 1986, p. 9—10.
18. MIDZUNO, I. Patent Japonia. În: R.J.-TOLP, nr. 10, 1986, ref. 270.
19. * * * În: R.J.-TOLP, nr. 10, 1984, ref. 148.
20. * * * În: E.J.-TOLP, nr. 8, 1975, ref. 71.

Scanned with OKEN Scanner

21. ANYCIINA, M. G. ș.a. Formirovanie poverhnostnîh defektov otlivok pri lite po gazifițiryemîm modeliam, vol. 2, 1 PL, Kiev, 1975.
22. VATANABE, T. Patent Japonia, nr. 60-141350. În: R.J.-TOLP, nr. 7, 1986, ref. 256.
23. MOORE, W. N. În: R.J.-TOPL, nr. 10, 1967, ref. 220.
24. PAVLOV, V. A. În: Liteinoe Proizvodstvo, nr. 9, 1986, p. 14—15.
25. KONOTOPOV, V. S. ș.a. Executarea modelelor din polistiren. În: Liteinoe Proizvodstvo, nr. 1, 1984, p. 21—22.
26. * * * Utilizarea polistirenului în turnătorie. În: The British Foundryman, nr. 8, 1986, p. 386.
27. TOIA, T. ș.a. Patent Japonia. Semnalare în R.J.-TOLP, nr. 9, 1986, ref. 151.
28. GORIA, C. A., MAGISTRALI, G. și SERRAMOGLIA, G. Recent innovations in the development of the „POLICAST" evaporative pattern process. În: Metallurgical Science and Technology, vol. 4, nr. 2, 1986, p. 59—69.
29. HORIUTI, K. ș.a. Patent Japonia. În: R.J.-TOLP, nr. 12, 1977, ref. 225.
30. KATASIMA, S. În: Liteinoe Proizvodstvo, nr. 4, 1986, p. 34 și R.J.-TOLP, nr. 7, 1986, ref. 260.
31. * * * Semnalare în R.J.-TOLP, nr. 10, 1986, ref. 226.
32. VERNIKOV, V. A. În: Liteinoe Proizvodstvo, nr. 11, 1971, p. 11.
33. * * * În: R.J.-TOLP, nr. 3, 1978, ref. 230.
34. BAILEY, F. V. Patent S.U.A., nr. 634599/1986. În: R.J.-TOLP, nr. 2, 1986, ref. 214.
35. KETSCHER, N. ș.a. Patent R.D.G. În: R.J.-TOLP, nr. 2, 1976, ref. 277.
36. VESELIANSKI, Iu. ș.a. În: Liteinoe Proizvodstvo, nr. 4, 1986, p. 8—9.
37. * * * În: Giesserei, vol. 72, nr. 14, 1985, p. 429; Giesserei, 71, nr. 4, 1984, p. 161—165; Giessereitechnik, 30, nr. 2, 1984, p. 47—50; Giessereitechnik, 30, nr. 3, 1984, p. 80—83; Giesserei, 71, nr. 25, 1984, p. 953—957; Foudry Trade J., 157, nr. 3290, 1984, p. 103—104, 107, 109—110; Foundry Trade J., 156, nr. 3284, 1984, p. 380; Hommes et Fonderie, nr. 147, 1984, p. 11—14.
38. KHELLER, P. G. În: Modern Casting, 74, nr. 9, 1984, p. 31—33.

Scanned with OKEN Scanner

15

Implicarea fizicii în procedeele neconvenţionale de elaborare şi prelucrare a metalelor şi aliajelor

Prof. dr. doc. ing. *Florea Oprea*
Conf. dr. ing. *Mihai Teodorescu*
Conf. dr. ing. *Nicolae Oancea*
Universitatea Galaţi

Unul din principalele obiective ale activităţii în industria metalurgică şi a construcţiilor de maşini îl constituie perfecţionarea tehnologiilor clasice şi introducerea de procedee tehnologice noi, în special a celor neconvenţionale, bazate pe procese fizice, în scopul creşterii eficienţei economice şi a obţinerii de noi produse cu caracteristici superioare, competitive pe plan mondial şi care să înmagazineze un cît mai mare volum de gîndire tehnologică, pentru a satisface exigenţele crescînde ale tehnicii şi, în special, ale tehnicilor de vîrf: aeronautica, energetica nucleară, microelectronica. Tendinţele pe plan mondial au în vedere îmbunătăţirea proprietăţilor materialelor metalice, cercetările ştiinţifice fiind orientate în acest domeniu în lumina noilor cuceriri ale fizicii moderne privind topiturile metalice şi oxidice, legătura reciprocă între starea lichidă şi cea solidă, precum şi asupra unor probleme privind teoria imperfecţiunilor structurii cristaline.

Prin tehnologiile neconvenţionale de elaborare a metalelor şi aliajelor se urmăreşte realizarea operaţiilor metalurgice într-un număr cît mai redus de agregate, dacă se poate într-un singur agregat (reactor), în prezent intensificîndu-se cercetările ştiinţifice privind aspectele termodinamice şi cele legate de mecanismul şi cinetica proceselor de disociere a combinaţiilor chimice (oxizi, carbonaţi, sulfuri) în sisteme complexe, a produselor de reducere (a oxizilor metalelor şi de oxidare a acestora) în topituri, a procedeelor speciale de dezoxidare, aliere şi turnare. În acest context, se acordă o atenţie deosebită studiului proprietăţilor fizico-chimice şi electrice ale fazelor topite (zgură şi metal-aliaj) al interacţiunii lor cu fazele gazoase şi solide şi al comportării elementelor însoţitoare în baia metalică, aprofundîndu-se cunoştinţele, în special, asupra elementelor dăunătoare calităţii aliajului, asupra gazelor şi incluziunilor nemetalice. În acest context, metoda analizei prin activare neutronică (metoda AAN) constituie o cale pentru determinarea impurităţilor la nivelul concentraţiilor foarte scăzute şi a corelării acestora cu caracteristicile fizico-mecanice ale materialului metalic.

În domeniul metalurgiei fontei, feroaliajelor şi obţinerii directe a fierului din minereuri, în numeroase ţări, inclusiv în ţara noastră, s-au obţinut rezultate pozitive în legătură cu intensificarea funcţionării furnalelor şi reducerea consumului de cocs, mecanizarea şi automatizarea proceselor, utilizarea produselor de conversie a gazului metan la temperatură ridicată, folosirea aerului îmbogăţit cu oxigen şi activarea proceselor de reducere prin introducerea gazului natural, utilizarea păcurii sau a pra-

Scanned with OKEN Scanner

fului de cărbune, introduse odată cu aerul, extinderea bazei de combustibili auxiliari la furnale, utilizînd smoala tip B și gudron, înregistrîndu-se economia de cocs și diminuarea cantităților de gaz metan insuflat în furnal, stabilirea unor noi tehnologii privind obținerea buretelui sau lupelor de fier, precum și a unor feroaliaje complexe de tipul: fier-aluminiu, Ca-Si, Fe-Al-Mn, Al-Si-Ca, Al-Si-Ca-Mn etc. Cunoașterea temeinică a termodinamicii și cineticii proceselor fizico-chimice care au loc la aglomerarea minereurilor de fier și aplicarea metodelor moderne ale fizicii experimentale a creat posibilitatea de a se realiza fundamentarea științifică a mecanismelor procesului de aglomerare în vederea stabilirii particularităților microstructurale ale constituenților mineralogici ai aglomeratului și obținerii unor caracteristici fizico-chimice superioare ale acestora, precum și intensificarea proceselor de reducere în furnal prin utilizarea de gaze obținute prin disocierea diverselor hidrocarburi (lichide sau gazoase) prin metode termice, catalitice, prin plasmă sau alți acceleratori ai procesului de reducere.

În țara noastră este de subliniat contribuția esențială adusă de Fizică în controlul desfășurării unor astfel de procese cu ajutorul izotopilor radioactivi. În acest context, merită să remarcăm unele direcții noi de cercetare privind posibilitatea și eficiența insuflării oxigenului în creuzetul furnalului în scopul afinării fontei, precum și apariția unor noi tehnologii (bazate, în mare măsură, pe fenomene fizice) prin care se realizează obținerea fontelor cu rezistență ridicată pentru construcția de mașini, prin tratarea fontei lichide în afara furnalului, sau cubiloului, cu gaz metan, prin insuflarea de pulberi desulfurante și modificatori complecși (solizi și lichizi) etc.

În ceea ce privește cocsul, cu toată scăderea consumului specific în furnal, creșterea masivă a producției de fontă provocată de dezvoltarea elaborării oțelului în convertizoare, a determinat majorarea necesarului de cocs metalurgic și, deci, dezvoltarea în continuare a industriei cocso-chimice.

În tehnologia cocsificării se efectuează lucrări multiple de modernizare din care se pot desprinde perfecționările tehnicii de pregătire a șarjei prin măcinări selective și folosirea unor noi tehnologii de formare a încărcăturii pentru fabricarea cocsului brichete, preîncălzirea șarjelor, încărcate la partea superioară, în vederea măririi productivității agregatelor de cocsificare, studiul încălzirii prin radiații, îmbunătățirea rezistenței mecanice a cocsului, prin aplicarea tehnologiei de stingere uscată și încadrare strictă în regimul de cocsificare, înlocuirea sistemului de cocsificare discontinuă, care limitează productivitatea agregatelor, prin cocsificarea continuă pe benzi metalice, realizînd indici de utilizare mult mai mari, dezvoltarea și extinderea aplicării de noi procedee de cocsificare, diferite de tehnologia clasică, în vederea lărgirii sortimentului de cărbuni utilizabili la cocsificare.

În domeniul recuperării subproduselor din acest sector sînt deosebit de interesante lucrările privind transformarea gudroanelor din gaze prin descărcări electrice — CORONA —, în produse mai ușoare sau chiar gaze, iar în domeniul produselor cărbunoase, realizările pe plan mondial sînt deosebit de avansate: aparatură de înaltă rezistență la coroziune și piese cărbunoase de calitate superioară, producerea de grafit pentru reactoare și a grafitului sticlos pentru construcții speciale etc.

Scanned with OKEN Scanner

În domeniul metalurgiei oțelului, preocupările sînt axate spre creșterea rentabilității producției de oțeluri de masă, spre îmbunătățirea condițiilor de turnare și solidificare a lingourilor, precum și a elaborării noilor mărci de oțeluri cu o îmbinare favorabilă a proprietăților tehnologice cu cele fizico-mecanice, din clasele: oțeluri speciale pentru construcția de mașini, cu proprietăți mecanice superioare, oțeluri refractare și inoxidabile.

Dintre tehnologiile noi aplicate în vederea ridicării nivelului calitativ al produselor, se pot menționa:

— tehnologia de degazare a oțelurilor aliate cu dezoxidare și aliere în vid;

— tehnologia de elaborare a oțelurilor inoxidabile cu carbon scăzut;

— tehnologia de insuflare a pulberilor reactive în oțelul lichid;

— elaborarea și turnarea continuă a oțelului cu jet protejat și distribuitor bazic pentru oțelurile de ambutisare adînc, necesare construcției de autoturisme;

— aplicarea tehnologiei de tratament a oțelului prin imersie în oală a tubului de silico-calciu.

Se poate, de asemenea, menționa tendința de transfer a operațiilor de rafinare și aliere a oțelurilor în afara agregatului de elaborare, atît în oala de turnare cît și unele instalații specializate pe anumite tipuri de operații de rafinare.

În aceste împrejurări, microalierea oțelurilor cu elemente rare și rafinarea oțelurilor prin diferite procedee care au la bază utilizarea vidului, deschid un cîmp larg de investigații. În acest context, prezintă importanță deosebită cercetările privind obținerea (elaborarea, deformarea plastică și tratamentul termic) și determinarea proprietăților fizico-chimice și mecanice a unor noi mărci de oțeluri, cercetările privind cinetica proceselor de rafinare a oțelurilor prin diferite procedee tehnologice (barbotarea cu gaze inerte, barbotarea cu gaze inerte + adaosuri în oala de turnare; tratarea cu zgură sintetică, injectarea de pulberi reactive în oțelul lichid, tratarea în vid a oțelului) bazate pe procese fizice, fizico-chimice și pe tehnica vidului, eliminarea incluziunilor nemetalice, cinetica procesului de solidificare a lingoului de oțel și corelarea ei cu structura primară obținută. Incluziunile și retasurile în oțeluri au o deosebită importanță, ca întreaga microstructură, la stabilirea proprietăților fizico-mecanice. Literatura indică posibilitatea de a determina densitatea acestora cu ajutorul spectroscopiei Mössbauer. Tendințele actuale fac apel din ce în ce mai mult la fizică, prin introducerea procedeelor de elaborare a oțelurilor de înaltă calitate prin topire cu jet de electroni sau prin topire cu plasmă.

Economia de metal și ușurarea greutății construcțiilor și produselor din oțel, fără dezavantajarea caracteristicilor de rezistență și a parametrilor de exploatare, a determinat creșterea proporției de produse plate în producția mondială de laminate; în țara noastră, această tendință a avut ca rezultat creșterea mai rapidă a proporției de table subțiri și a benzilor, creșterea în ansamblu a cantităților de tablă din oțel aliat, slab aliat și din oțel carbon de calitate, precum și introducerea de noi tehnologii de laminare printre care tehnologia de laminare la temperatură controlată a tablelor groase și altele.

În ceea ce privește calitatea materialului tubular, se constată o preocupare crescîndă pentru țevi de foraj cu caracteristici mecanice superioare destinate forajului la adîncimi din ce în ce mai mari. În domeniul fabricării țevilor destinate industriilor energetice, chimice și petrochimice se

Scanned with OKEN Scanner

constată creșterea continuă a producerii țevilor aliate și înalt aliate (inoxidabile, refractare) și, în particular, a celor termorezistente. În aceste împrejurări, se remarcă necesitatea abordării unor cercetări pivitoare la stabilirea tehnologiilor optime de fabricare și de tratament termic a unor produse cu caracteristici fizico-mecanice superioare în condițiile de lucru tot mai grele de temperatură, presiune și coroziune la care sînt expuse aceste țevi în exploatare.

În fabricarea sîrmelor prin trefilare și a produselor din sîrmă (cabluri din oțel) se constată tendința către produse cu caracteristici fizico-mecanice ridicate. Acest deziderat se poate realiza prin utilizarea mai largă a oțelurilor slab aliate și aliate (mai ales cînd se pun și probleme de coroziune) și prin utilizarea tratamentului termomecanic aplicat la sîrmele din oțel carbon de calitate. Se observă, pe plan mondial, tendința de utilizare a sîrmelor de înaltă rezistență, precum și o extindere a utilizării cablurilor semiînchise și închise, mai ales la mașini miniere de extracție și funiculare, această tendință determinînd studierea și perfecționarea fabricării sîrmelor profilate cu toleranțe restrînse, amplificîndu-se în felul acesta cercetările privind tratamentul termic al materialului tubular și studiile în vederea stabilirii condițiilor optime de tratamente termomecanice a unor produse laminate sau trefilate.

Construirea a numeroase laminoare și forje noi, în unitățile industriale, impune să se studieze cu prioritate problemele de deformare plastică a oțelurilor și stabilirea condițiilor optime de deformare, manifestîndu-se o largă preocupare pentru noi procedee de deformare la cald și la rece a oțelurilor greu deformabile prin extrudare, prin explozie, prin cîmpuri magnetice etc.

În acest context, în programul unitar de cercetare pentru domeniul metalurgiei prelucrătoare, trebuie să capete o pondere mai mare cercetările privind îmbunătățirea calității tablelor pentru construcții navale, pentru cazane și recipienți sub presiune, a oțelurilor destinate fabricării de țevi-conducte de mare diametru pentru transportul de gaze naturale, a tablelor și benzilor anticorozive pentru utilaje și instalații chimice, a tablelor și benzilor cu proprietăți magnetice superioare, pentru industria electrotehnică, laminarea benzilor la cald prin utilizarea lubrifierii tehnologice, a tablelor și benzilor cu limită de curgere ridicată pentru ambutisarea adîncă, destinate industriei de autovehicule, fabricării țevilor cu pereți subțiri de precizie înaltă, pentru industria aeronautică și energetică nucleară.

În vederea obținerii unor caracteristici superioare la oțelurile destinate acestor domenii, trebuie amplificate cercetările pentru definirea domeniilor de aplicare a încălzirii rapide cu oxidare și decarburare redusă și extinderea studiilor referitoare la stabilirea condițiilor de tratament termic a oțelurilor de mare rezistență, acordîndu-se pe această cale o atenție deosebită problemelor privind dislocațiile și fenomenele de difuzie. În acest context, se impune efectuarea unor cercetări prioritare privind îmbunătățirea calității anticorozive a aliajelor, deoarece alierea oțelurilor cu elemente care asigură rezistența ridicată la coroziune a acestora — protecția catodică — protecția anodică sau protejarea suprafeței aliajelor din diferite straturi metalice sau nemetalice, prin procedee fizice, electrochimice sau termice, acoperirea metalelor cu jet de plasmă, placarea ionică, nitrurarea ionică etc., sînt tendințele existente în prezent în lupta împotriva coroziunii. În același timp, remarcăm faptul că structura suprafețelor laminatelor subțiri (table) are o mare importanță în rezistența la elec-

Scanned with OKEN Scanner

trocoroziune și pentru dinamica autodifuziei elementelor chimice spre suprafață. Explorarea prin microsonda electronică a suprafețelor cu penetrație pînă la 100 microni permite analiza prin radiație de fluorescență X a distribuției elementelor în adîncime. În acest mod, se poate aprecia gradientul de concentrație în funcție de caracteristicile fizico-chimice ale suprafețelor, realizarea unor imagini electronografice definitorii pentru repartiția în plan a elementelor precum și controlul permanent al microalierii produselor finite.

În consecință, metalurgia solicită colaborarea din partea fizicii în stabilirea metodelor de control în flux continuu a produselor plate și trefilate și dezvoltarea problemelor care privesc fizica corpului solid, în vederea ridicării valorii de rezistență și de plasticitate a materialelor metalice.

În condițiile actuale, în vederea creșterii productivității agregatelor, îmbunătățirii calității produselor, reducerii pierderilor de metal și consumurilor specifice de combustibil, la diverse operații metalurgice, este necesară dezvoltarea în continuare a cercetărilor din domeniul termodinamicii metalurgice, realizîndu-se cu prioritate studii privind arzătoarele cu oxigaz și oxilichid, a arzătoarelor cu supraîncălzirea electrică a gazelor, dezvoltarea studiilor privind folosirea plasmei în metalurgie, precum și o serie de cercetări referitoare la gazodinamica cuptoarelor, în vederea construcției de agregate cu profile optime, studii referitoare la cuptoarele cu panouri radiante, realizarea jeturilor controlabile din punct de vedere al compoziției, temperaturii, lungimii și direcției jetului. În țara noastră, în prezent, se studiază realizarea arzătoarelor regenerative a căror importanță tehnică și economică este deosebită. Sîntem convinși că, printr-o colaborare între metalurgi și fizicieni, se vor putea obține rezultate îmbunătățite în aceste domenii într-o perioadă relativ scurtă.

În domeniul metalurgiei neferoase, tendințele mondiale au în vedere adoptarea unor noi tehnologii de elaborare într-un singur agregat (reactor) și de mare productivitate, care să asigure valorificarea complexă a materiilor prime, precum și exigențele tehnicii actuale în ceea ce privește eficiența economică și consumurile de energie și combustibil.

În țara noastră, cercetările din acest domeniu, trebuie să aibă în vedere extinderea folosirii aliajelor cu proprietăți mecanice ridicate și comportare bună la coroziune, la elaborarea cărora să se folosească cu precădere metale uzuale produse în cantități mari (Al, Cu și Zn) precum și stabilirea de tehnologii care să asigure elaborarea în țară a aliajelor complexe, rezistente la temperaturi ridicate, a aliajelor pe bază de metale de mare puritate cu proprietăți superioare pentru microelectronică, aeronautică și energetică nucleară, asigurîndu-se în același timp, extinderea folosirii aliajelor pentru piese turnate prin eliminarea tratamentelor termice și a unor operațiuni de deformare plastică.

Pentru realizarea unor materiale care să satisfacă exigențele tehnicii mondiale, noile procedee de elaborare bazate pe fenomene fizice și fizico-chimice trebuie să asigure: obținerea unor aliaje cu caracteristici mecanice superioare prin folosirea unor elemente de aliere care să permită realizarea unor soluții solide de interstiție cu rețea cristalină mult deformată prin utilizarea, la elaborare, a metalelor de puritate spectrală; reducerea mărimii cristalelor în aliaje, prin tratament termomecanic sau prin alte metode; diminuarea dimensiunii particulelor precipitate în urma tratamentului termic de îmbătrînire artificială și repartiția lor uniformă în masa materialului de bază; accentuarea gradului de deformație al rețelelor cris-

Scanned with OKEN Scanner

taline prin microaliere sau prin supunerea lor unui bombardament cu neutroni; folosirea maclajului ca mijloc de frînare a mișcării dislocațiilor; mărirea rezistenței la coroziune a aliajelor neferoase prin introducerea unor elemente de aliere cu funcție de inhibitori. În viitorul apropiat, se impune o colaborare mai strînsă între metalurgi și fizicieni atît în realizarea cît și în controlul calității aliajelor necesare industriei nucleare și aeronautice ca de exemplu a aliajelor pe bază de zirconiu și titan.

În ceea ce privește domeniul metalurgiei pulberilor, s-a trecut deja la realizarea pulberilor metalice direct din minereuri, eventual cu aplicarea metodelor hidrometalurgice, la obținerea pulberilor foarte fine (catalizatori de reacții chimice), a pulberilor anticorozive din oțel feritic, aliat cu crom, se studiază folosirea carbonului amorf pentru obținerea de fibre cu stabilitate la temperaturi ridicate, obținerea pulberilor de Tantal, Hafniu, Reniu, Uraniu, Bor etc. În cadrul tehnologiei, se cercetează introducerea presării ciclice, formarea în pastă, presarea prin explozie, prin poanson electric, realizîndu-se deja linii continui de presare-sinterizare sub vid și laminare a pulberilor.

Se urmărește obținerea cu prioritate a materialelor metalo-ceramice (cermeți — amestec de pulberi metalice și nemetalice) rezistente la temperaturi ridicate, vibrații, șocuri termice și la coroziune. Cermeți speciali (boruri, nitruri, siliciuri) obținuți printr-o durificare de dispersie sau prin procedee de electroforeză, sînt utilizați deja cu rezultate pozitive în industriile chimice, nucleare și aeronautică. Obținerea de produse sinterizate de tipul materialelor grafitice (grafit pirolitic) formează, de asemenea, obiectul multor cercetări.

Noi aliaje de niobiu cu tantal sau zirconiu aliaje de Al-Ni, de Al-Si, de Ni cu conținut de oxid de thoriu, domeniul fibrelor metalice obținute din pulberi, metode noi de obținere a materialelor dure prin încărcare (sudură, plasmă etc.) sînt cîteva din noile materiale în care cercetările trebuie în mare măsură amplificate, punîndu-se un accent deosebit pe metode noi ale fizicii de determinare a proprietăților metalelor și aliajelor la diferite temperaturi și pe studiul defectelor produselor metalurgice, prin controlul nedistructiv în fluxul tehnologic.

În acest context, în condițiile dezvoltării industriilor de vîrf, în țara noastră, vor trebui amplificate în mai mare măsură cercetările în domeniul superaliajelor care sînt aliaje din sistemul Ni-Co-Cr, cu diverse elemente de aliere Ti, Al, Mo, W, Hf, Nb, Ta, Zr etc., numite și aliaje superrefractare (NYMONIC, INCONEL, INCOLOY, René, ASTROLOY, HASTELLOY, HAYNES, MULTINET, WASSALOY) datorită rezistenței la oxidare și coroziune, avînd o bună rezistență și stabilitate la temperaturi ridicate. În multe țări, în acest domeniu, se constată înlocuirea tehnologiei convenționale (elaborare-turnare-forjare-extrudare-tratament termic — prelucrare mecanică la cote finale — control ultrasonic) cu o tehnologie „neconvențională" prin tehnica metalurgiei pulberilor, utilizînd ca materie primă o pulbere obținută prin pulverizarea cu argon a superaliajului elaborat în vid sau prin alte metode. Tehnologia prin metalurgia pulberilor tinde să se generalizeze de cînd pulberilor de superaliaj li se aplică înainte de prelucrare o „aliere mecanică"; pulberile sînt amestecate cu trioxid de itriu (Y_2O_3) care, la prelucrare, precipită sub forma dispersă alături de faza γ, acest material fiind întîlnit sub denumirea de superaliaj durificat prin dispersie de oxid.

Scanned with OKEN Scanner

În prezent, se adîncesc aspectele teoretice, latura practică și metodologia de investigație a unor probleme noi ca: obținerea materialelor metalice cu o densitate mare de dislocații prin aplicarea tratamentelor termomecanice (aliaje refractare dure și superrefractare pe bază de nichel, aliaje de molibden, titan etc.); obținerea de materiale metalice deosebite cu proprietăți superioare de tenacitate la temperaturi joase cu densitate foarte mică a dislocațiilor; microalierea oțelurilor cu elemente care provoacă durificarea secundară prin precipitare de carburi sau care acționează asupra călibilității și finisării grăuntelui austenitic (B, Nb, V, Ta, Zr, N etc.) sau cu elemente din grupa lantanidelor și a actinidelor care, îmbunătățesc proprietățile de elasticitate, în urma acțiunilor asupra incluziunilor nemetalice; obținerea de materiale superplastice, superconductoare, materiale compozite, fibre și materiale criogenice.

În paralel, se continuă și se adîncesc o serie de cercetări referitoare la transformările structurale, mecanismul deformării și ruperii, studiul proceselor de normalizare și îmbunătățire a proprietăților oțelurilor slab aliate și cu un conținut mic de carbon (problema readusă în actualitate de dezvoltarea tot mai mare ce o capătă îmbinarea construcțiilor metalice prin sudură), mecanismul fenomenelor de fluaj, oboseala, fragilitatea, segregația dendritică în aliajele feroase etc., fenomene care condiționează gradul de utilizare a aliajelor și în special a oțelurilor.

La interferența științelor fundamentale și aplicate (fizica, chimia fizică, fizica metalelor și metalurgia) se dezvoltă intens o direcție deosebit de interesantă de cercetare legată de elucidarea naturii topiturilor metalice, studiul proprietăților și structurilor, precum și a influenței lor asupra stării solide.

S-a stabilit, de exemplu, că pregătirea topiturii metalice și gradul de îndepărtare față de echilibru, influențează asupra unor caracteristici de mare importanță ai pieselor turnate cum sînt plasticitatea, rezistența, duritatea. Aceste interdependențe au fost însă insuficient studiate, dar rezultatele obținute pînă în prezent deschid noi orizonturi pentru îmbunătățirea calității și stabilizarea proprietăților metalelor și aliajelor, domeniul construcțiilor aerospațiale.

În domeniul prelucrării metalelor la rece, noile cercetări științifice impun în locul prelucrărilor clasice prin așchiere, introducerea unor tehnologii neconvenționale electro-erozive, electrochimice, cu laser, cu plasmă, cu ultrasunete și utilizarea, în domeniul prelucrărilor prin deformare plastică a concentrării hidrostatice a tensiunilor, prin deformare locală rotativă cu aport de energie concentrată, electrohidraulică, electromagnetică și deformare izostatică; aceste tehnologii au aplicabilitate în domeniul valorificării materialelor cu prelucrabilitate redusă, a realizării pieselor complicate din aliaje refractare, inoxidabile, aliaje utilizate în domeniul construcțiilor aerospațiale.

Pentru îmbunătățirea comportării în funcționare a pieselor cu solicitări termo-mecanice mari s-a trecut la utilizarea unor tehnologii bazate pe fenomene fizice, apelîndu-se tot mai frecvent la tehnologii de finisare prin modificarea stării de tensiuni fără schimbări dimensionale, prin lustruire electrochimică, finisare prin rulare, realizarea de straturi subțiri cu aport de metal sau compuși metalici depuși prin tehnologii neconvenționale, realizarea unor straturi metal-nemetal cu caracteristici tehnologice și funcționale remarcabile.

Scanned with OKEN Scanner

În domeniul realizării mașinilor-unelte și a mașinilor pentru deformări plastice se menționează următoarele tendințe:

— aplicarea largă a principiului modular de construcție;

— extinderea automatizării prin introducerea sistemelor electronice de comandă și control;

— atingerea unor viteze mari de prelucrare prin folosirea în construcție a unor repere și subansamble cu stabilitate statică și dinamică ridicată;

— introducerea liniilor automate de fabricație a centrelor de prelucrare și a sistemelor flexibile de producție;

— utilizarea largă a mașinilor-unelte cu comandă numerică;

— dezvoltarea producției și introducerea mașinilor de prelucrare prin deformare plastică, în special la rece, care contribuie la reducerea consumului de metale, îmbunătățirea proprietăților produselor obținute și mărirea substanțială a productivității;

— introducerea pe scară largă a manipulatorilor și roboților industriali.

În domeniul utilizării unor materiale noi, pentru obținerea unor produse cu caracteristici superioare, se manifestă, de asemenea, o serie de tendințe:

— folosirea, în special în construcția mașinilor-unelte, a unor materiale cu calități de amortizare deosebite la vibrații, cum ar fi betoanele cu rășini epoxidice, în special pentru mașinile-unelte de înaltă precizie;

— utilizarea bazaltului pentru obținerea unor piese cu solicitări mecanice deosebite (ex. la motoare termice), pentru realizarea elementelor de ghidare ale mașinilor-unelte, precum și pentru placarea unor suprafețe mari care trebuie să asigure rezistență ridicată la coroziune;

— în tehnica mijloacelor de transport se impun tot mai mult materiale super-ușoare, cu tendința de a înlocui structurile metalice grele; astfel, se folosesc materiale compozite pe bază de fibre de grafit impregnate cu rășini epoxidice, materialele compozite autoarmate polimerizate, materiale compozite pe bază de sticlă, sau sticlă-carbon, cu calități deosebite de rezistență la coroziune;

— pentru realizarea unor scule așchietoare de înaltă performanță, se folosesc, pe scară tot mai largă, carburi metalice acoperite cu mai multe straturi ceramice, carburi metalice acoperite cu nitruri, precum și ceramică de tip compozit.

Pentru prelucrarea materialelor anticorozive și termorezistente se folosesc tehnologii neconvenționale, în special electrochimice și electroerozive, folosindu-se tot mai larg scule-electrozi de tip tubular, realizate din materiale noi de tip ceramic sau sticlă, care asigură rezistență mare la uzare, avînd în acest fel și o foarte bună stabilitate dimensională, prelucrări electroerozive cu fir, folosind dimensiuni submicroscopice și viteze foarte mari de tăiere (prelucrare), care asigură precizii deosebite la prelucrarea unor piese complexe pe mașini-unelte cu comandă numerică de conturare.

*

* *

În scopul creșterii productivității și al ridicării continue a calității produselor din industria metalurgică și a construcțiilor de mașini, pe plan mondial se urmărește creșterea continuă a preciziei mijloacelor de măsu-

Scanned with OKEN Scanner

rare și extinderea automatizării complexe pe baza calculatoarelor electronice. Rezolvarea unor probleme ca: măsurarea automată și continuă a temperaturii aliajelor (fonte, oțel etc.) în stare lichidă, al laminatelor în timpul laminării, măsurarea parametrilor dimensionali ai laminatelor pline, țevilor, tablelor vor permite în mai mare măsură trecerea la automatizarea complexă și la introducerea cu prioritate a calculatoarelor în procesele tehnologice. De asemenea, în metalurgie va fi necesar să se extindă metodele moderne de control bazate pe izotopi radioactivi, ultrasunete etc. în vederea îmbunătățirii proceselor tehnologice corespunzătoare și să se acorde mare atenție confecționării de instrumente și aparate științifice de mare precizie necesare muncii de cercetare și controlul desfășurării proceselor tehnologice.

Sîntem convinși că teoria și practica în industria metalurgică și a construcțiilor de mașini vor continua să se dezvolte și în viitor necesitînd crearea unei atmosfere favorabile efectuării de noi cercetări și a unei receptivități sporite față de aplicarea în producție a rezultatelor științifice privind implicarea fizicii în procedeele de elaborare și prelucrare a materialelor metalice.

Scanned with OKEN Scanner

16

Utilizarea electrozilor-sculă din aluminiu la prelucrarea electroerozivă a oţelului*

Dr. ing. *Carol Maniţiu*
Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Construcţii de Maşini I.C.T.C.M.

1. Realizarea electrozilor-sculă pentru prelucrarea electroerozivă este adesea legată de dificultăţi tehnice şi de costuri ridicate; după unii autori, la prelucrarea de cavităţi complexe prin electroeroziune, costul electrozilor-sculă poate reprezenta 70—80% din totalul costului de prelucrare. Dificultăţi foarte mari apar prin modificarea cotelor, cu valoarea interstiţiului de lucru, ceea ce poate conduce la profile nestandardizate ce nu pot fi realizate prin prelucrări mecanice. În astfel de cazuri electrodul-sculă se realizează la forma standard, iar micşorarea cotelor cu valoarea interstiţiului de lucru se realizează prin atac cu acizi; această metodă conduce însă la scăderea preciziei şi la rotunjirea muchiilor electrozilor-sculă. În alte cazuri, se recurge la confecţionarea unui model din răşină al electrodului-sculă şi apoi se face prelucrarea sa prin copiere pe maşini speciale; metoda este laborioasă şi scumpă.

Neajunsurile arătate mai înainte se amplifică atunci cînd se pune problema prelucrării prin electroeroziune a unei serii oricît de restrînse de cavităţi identice, deoarece apare necesară şi o serie de electrozi-sculă.

Aceste neajunsuri sînt generate de faptul că electrozii-sculă se uzează în procesul de prelucrare electroerozivă şi că deşi aceste uzări sînt din ce în ce mai mici (datorită noilor tipuri de generatoare *ED*, a noilor materiale pentru sculă etc.), ele nu pot fi admise la preciziile din ce în ce mai ridicate solicitate de nevoile industriei.

Astfel de deficienţe sînt mult diminuate şi în unele cazuri complet înlăturate de centrele de prelucrare prin electroeroziune, care, prin concepţia de lucru prin generare, asigură un consum redus de electrozi complecşi precum şi compensarea uzurilor din procesul de prelucrare.

2. Tehnologia propusă porneşte de la ideea utilizării unui electrod-sculă intermediar din aluminiu; se realizează prin electroeroziune (pe aceeaşi maşină pe care se face prelucrarea, sau pe o altă maşină) utilizînd drept sculă un „model" din cupru identic ca formă şi dimensiuni, cu cavitatea ce dorim s-o obţinem în piesa din oţel.

„Modelul" din cupru se poate realiza prin prelucrări mecanice, depunere galvanică, imprimare prin presare, sau orice altă metodă ce ar permite realizarea sa la precizia cerută.

* Brevet R.S.R. nr. 79976/1982.

Tehnologia de prelucrare electroerozivă a unei cavități în oțel, utilizînd electrod intermediar din aluminiu, se prezintă principial astfel (se exemplifică la realizarea unei matrițe pentru roți dințate conice):

— se realizează un „model" *K* (fig. 16.1) din cupru identic cu cavitatea ce trebuie realizată în oțel, care se fixează pe masa mașinii;

— se realizează o degroșare foarte aproximativă a unui electrod-sculă *A* (fig. 16.1), din aluminiu, pentru prelucrarea cavității în oțel (în cazul ales, un simplu trunchi de con, cu gaură de spălare și fără dantură);

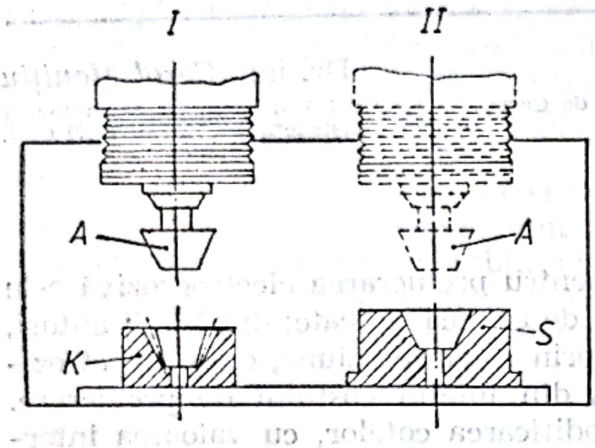


Fig. 16.1. Tehnologie nouă EDM:
I — formarea electrodului; *II* — prelucrarea piesei; *A* — electrod; *K* — model; *S* — piesă.

— se face prelucrarea electroerozivă a cavității de oțel în „pași"; astfel, primul „pas" de degroșare poate fi descris astfel:

— se „formează" electrodul-sculă din aluminiu în „modelul" din cupru utilizînd un regim *ED* de degroșare (50 A fig. 16.1, poziția I);

— se deplasează electrodul-sculă din aluminiu în dreptul piesei din oțel și se face prelucrarea de degroșare a cavității în oțel (25 A, fig. 16.1, poziția II); la această prelucrare electrodul-sculă din aluminiu se uzează cu 5—10%, funcție de regimul de prelucrare;

— se deplasează electrodul-sculă din aluminiu în dreptul „modelului" din cupru și se face o corecție a formei sale, pînă la îndepărtarea efectelor uzurii pe aceeași treaptă de lucru (50 A, fig. 16.1, poziția I);

— se deplasează electrodul-sculă din aluminiu în dreptul cavității din oțel și se prelucrează în continuare diferența datorată uzurii anterioare a electrodului-sculă (25 A, fig. 16.1, poziția II); acest prim „pas" se regăsește în tabelul 16.1, îngroșat;

— se prelucrează cavitatea din oțel în „pașii" următori, cu trepte de putere din ce în ce mai scăzute, utilizînd întotdeauna, la „formarea"

Tabelul 16.1. **Exemplu de aplicare a metodei**

I (A)	Formarea electrodului de aluminiu în „modelul" de cupru				Prelucrarea oțelului cu electrodul de aluminiu			
	t_i/t_p [μs]	Polaritate	Productivitate (mm³/min)	*UKS* (%)	t_i/t_p [μs]	Polaritate	Productivitate (mm³/min)	*UAS* (%)
50	200/12	+	1 250	0,102	—	—	—	—
25	200/25	+	487	0,120	800/100	+	162	6,1
12	100/12	+	270	0,135	800/200	+	63	4,2
6	50/6	+	90	0,14	200/50	+	28	3,2

NOTĂ: Aluminiul utilizat: Al 99,8. Model: cupru electrolitic. Oțelul prelucrat: oțel aliat.

Scanned with OKEN Scanner

electrodului-sculă din aluminiu, în „modelul" din cupru, o treaptă de putere mai mare decît pentru prelucrarea cavității din oțel (tabelul 16.1).

Finisarea cavității din oțel se face utilizînd aceeași treaptă de putere și pentru „formarea" electrodului din aluminiu și pentru prelucrarea în oțel. În tabelul 16.1 s-a evidențiat treapta 6 A, utilizată la finisare în exemplul dat.

3. Aplicarea acestei tehnologii de prelucrare electroerozivă aduce avantaje tehnice și economice.

În locul realizării unui set de electrozi-sculă, uneori foarte complicați (pentru degroșarea, semifinisare, finisare), este suficientă doar realizarea unui „model" din cupru a cavității de prelucrat. Din experimentările efectuate, a rezultat că un „model" din cupru, identic cu cavitatea de prelucrat, poate conduce la realizarea cavității dorite în oțel, interstițiile de lucru *ED* cupru-aluminiu și aluminiu-oțel fiind identice sau foarte apropiate ca valori; cînd sînt necesare unele corecturi de valori, acestea se pot face pe cale tehnologică, prin modificări ale treptelor de lucru, ale valorii duratei impulsurilor etc., la prelucrarea aluminiului, respectiv a oțelului [1].

Se realizează un progres, prin aceea că se trece la realizarea electrozilor-sculă chiar prin electroeroziune, care se știe că este cea mai indicată tehnologic pentru realizarea de piese complexe și precise.

Se obțin importante avantaje economice, deoarece, cu un singur „model" din cupru se poate prelucra, la aceeași precizie, un volum de 5÷15 ori mai mare de oțel decît cu un set de electrozi din cupru prin tehnologia „clasică", electroerozivă. Pentru demonstrarea acestei afirmații, se face apel la fig. 16.1, care reprezintă noua tehnologie de prelucrare *ED* și fig. 16.2, care reprezintă tehnologia „clasică" de prelucrare *ED*. Se fac următoarele notații:

pentru fig. 16.1, V_{s1} este volumul ce se îndepărtează din piesa de oțel la prelucrarea cu electrod intermediar din aluminiu, pînă la uzarea absolută a „modelului" din cupru, cu valoarea V_k; V_{A1} — volumul îndepărtat la „formarea" electrodului din aluminiu; V_{A2} — volumul uzat din electrodul de aluminiu la prelucrarea oțelului; V_{k1} — volumul uzat din „modelul" din cupru, la „formarea electrodului din aluminiu; U_{KA} — uzura relativă a „modelului" din cupru la „formarea electrodului din aluminiu; U_{AS} este uzura relativă a electrodului din aluminiu la prelucrarea oțelului; n — numărul de corecturi ale uzurii electrodului din aluminiu, în „modelul" din cupru, la prelucrarea cu un „pas";

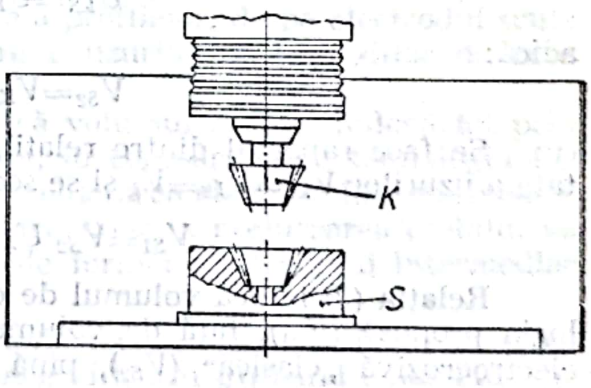


Fig. 16.2. Tehnologie clasică EDM:
K — electrod; S — piesă.

pentru fig. 16.2, V_{S2} este volumul ce se îndepărtează din piesa de oțel, la prelucrarea cu electrod din cupru, cu valoarea V_k; V_k — volumul uzat din electrodul din cupru, la prelucrarea oțelului; U_{KS} — uzura relativă a electrodului din cupru, la prelucrarea oțelului.

Se calculează volumul V_{S1}, de oțel, ce poate fi îndepărtat la prelucrarea electroerozivă, în cazul prelucrării cu electrod intermediar din alu-

Scanned with OKEN Scanner

miniu (v. fig. 16.1) și volumul V_{S2} la prelucrarea direct cu electrod din cupru (v. fig. 16.2), pînă la atingerea aceleiași uzuri absolute V_k, la un „pas" de prelucrare.

Se calculează volumul îndepărtat din oțel la noua tehnologie (v. fig. 16.1), pornind de la expresia uzurii relative, la prelucrarea oțelului cu electrodul intermediar din aluminiu:

$$U_{AS}=V_{A1}/V_{S1}\cdot 100; \tag{1}$$

de unde se obține:

$$V_{S1}=V_{A1}/U_{AS}\cdot 100. \tag{2}$$

Uzura relativă a „modelului" din cupru, la formarea electrodului din aluminiu, va fi:

$$U_{KA}=V_{K1}/V_{A2}\cdot 100. \tag{3}$$

Din relația (3) se scoate:

$$V_{A2}=V_{K1}/U_{KA}. \tag{4}$$

Deoarece întotdeauna, pentru asigurarea preciziei de prelucrare, trebuie îndepărtată uzura electrodului din aluminiu, prin „formare" în „model", și apoi prelucrată în oțel diferența rămasă neprelucrată, se admite:

$$V_{A1}\cong V_{A2}\cong V_A. \tag{5}$$

Relația (5) a fost confirmată practic ca valabilă în cadrul unui „pas" de lucru.

Eliminînd pe V_{A1} și V_{A2} și utilizînd relațiile (2), (4) și (5) se obține:

$$V_{S1}=100\ V_{K1}/U_{KA}\ U_{AS}\cdot 100. \tag{6}$$

Se calculează volumul îndepărtat din oțel la tehnologia *ED* „clasică" (v. fig. 16.2), pornind de la expresia uzurii relative:

$$U_{KS}=U_{K2}/V_{S2}\cdot 100; \tag{7}$$

adică:

$$V_{S2}=V_{K2}/U_{KS}\cdot 100. \tag{8}$$

Se face raportul dintre relațiile (6) și (7) punînd condiția de egalitate a uzurilor $V_{k1}=V_{k2}=V_k$ și se scoate valoarea lui V_{S1}:

$$V_{S1}=V_{S2}\ U_{KS}/U_{KA}\ U_{AS}\cdot 100. \tag{9}$$

Relația (9) indică volumul de oțel ce se poate îndepărta prin tehnologia propusă (V_{S1}), față de volumul ce se poate obține prin tehnologia electroerozivă „clasică" (V_{S2}), pînă la atingerea aceleiași uzuri absolute (V_k) dacă la un „pas" este necesară o singură „formare" a electrodului din aluminiu.

În realitate, pentru parcurgerea completă a unui „pas" (conform 3), sînt necesare mai multe „formări" ale electrodului din aluminiu în modelul din cupru (M). În acest caz, formula (9) va deveni:

$$V_{S1}=V_{S2}\frac{U_{KS}}{\sum_1^n U_{KA}\sum_1^n U_{AS}}\cdot 100, \tag{10}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde:

$$\sum_{1}^{n} U_{KA} = U_{KA1} + U_{KA2} + \ldots + U_{KAn}. \quad (11)$$

$$\sum_{1}^{n} U_{AS} = U_{AS1} + U_{AS2} + \ldots + U_{ASn}. \quad (12)$$

În cadrul unui „pas" de lucru există relațiile:

$$U_{KA1} = U_{KA2} = \ldots = U_{KAn}; \quad (13)$$

$$U_{AS1} = U_{AS2} = \ldots = U_{ASn}. \quad (14)$$

În această situație, relația (10) valabilă pentru un „pas" de lucru, devine:

$$V_{S1} = V_{S2} \frac{U_{KS}}{{}_{n}U_{KA}U_{AS}} \cdot 100. \quad (15)$$

Introducînd în relația (15) valori practice, obținute din tabelul 16.1, la prelucrarea elementelor de matriță pentru anvelope auto, se obțin valorile următoare pentru „pasul" de degroșare:

$$V_{S1} = V_{S2}\ 0{,}2/3 \cdot 0{,}102 \cdot 6{,}1 \cdot 100, \quad (16)$$

sau:

$$V_{S1} = 11\, V_{S2}. \quad (17)$$

Relația (17) arată că tehnologia electroerozivă de prelucrare cu electrod intermediar din aluminiu și „model" din cupru permite îndepărtarea unui volum de 11 ori mai mare de oțel, decît tehnologia *ED* „clasică", pînă la atingerea aceleiași uzuri absolute V_k, în cazul „pasului" exemplificat. Sau, altfel spus, dacă prin tehnologia obișnuită *ED* (v. fig. 16.2) se prelucrează o piesă, prin noua tehnologie *ED* (v. fig. 16.1) se pot prelucra 11 piese, în aceleași condiții de precizie (aceeași uzură absolută V_k a electrodului, respectiv a „modelului" din cupru).

Se menționează că metodologia utilizată pentru determinarea uzurilor și a preciziei de prelucrare *ED* [2]; a dat posibilitatea unei aprecieri comparative a fidelității de transmitere a profilelor, de pe electrodul sculă pe piesa de prelucrat, și de apreciere a uzurilor și preciziilor de prelucrare.

Din analiza relației (15), rezultă că volumul de oțel îndepărtat prin noua tehnologie va fi cu atît mai mare, în comparație cu tehnologia *ED* „clasică", cu cît: uzura „modelului" la prelucrarea electrodului intermediar va fi mai mică; uzura electrodului intermediar la prelucrarea oțelului va fi mai mică; numărul de „corecturi" ale formei electrodului intermediar în „model" va fi mai redus.

4. Această tehnologie se poate aplica cu succes, utilizînd în locul „modelului" din cupru un „model" din grafit, sau utilizînd chiar alte cupluri de materiale decît cele citate.

Datorită tendinței tot mai accentuate de creștere a seriilor de produse, a complexității și a preciziei impuse acestora, tehnologia cu electrod intermediar își găsește un cîmp din ce în ce mai larg de aplicare.

Această nouă tehnologie *ED* a fost aplicată, sau este în curs de aplicare, într-o serie de domenii cum ar fi:

— realizarea matrițelor pentru realizarea roților dințate conice; în astfel de cazuri sînt necesare mai multe matrițe identice deoarece seriile

de roți dințate conice matrițate sînt foarte mari (industria de automobile, mașini agricole etc.);

— prelucrarea electroerozivă a matrițelor pentru anvelope auto; în astfel de cazuri „elementele" de matriță au o formă geometrică foarte complicată și se repetă în număr mare pe aceeași matriță;

— realizarea matrițelor pentru industria sticlei, a bunurilor de larg consum etc. Datorită seriilor foarte mari de produse de larg consum și necesarul de matrițe identice este foarte mare.

BIBLIOGRAFIE

1. MANIȚIU, C., MEHLHORN, H. Contribution to the optimization of the EDM process, ISEM 5 — Switzerland, 1977.
2. SEN, A. K., CROOKALL, J. R.: Detaill Transfer in EDM Finishing Proc., of the 20 th Int. Mach. Tool Das. and Mes. Conf., Birmingham — 1979, Birmingham 1980, 567—573.

Scanned with OKEN Scanner

17

Aspecte tribotehnologice ale procesului de rectificare cu discuri diamantate*

Ioan D. Marinescu
Institutul Politehnic București

1. Introducere

În ultimii ani procesele de așchiere tradiționale au fost studiate și din punct de vedere tribologic iar procesele de finisare și superfinisare au fost cele care s-au pretat cel mai bine acestui studiu. Dintre procesele de finisare ne vom referi în continuare la procesul de rectificare cu discuri diamantate, proces pe care îl vom analiza tehnologic și tribologic.

Intenția este de a stabili un paralelism și o echivalență între parametrii tehnologici și cei tribologici, precum și o optimizare a procesului din punct de vedere a ambelor aspecte.

În cazul tribologiei de obicei luăm toate măsurile în vederea reducerii uzurii prin micșorarea frecării cu ajutorul lubrifianților și a altor metode.

În cazul rectificării în special și al așchierii în general se urmărește dirijarea cuplei de frecare într-un sens și anume reducerea pe cît posibil a uzurii sculei și mărirea uzurii (prelevării de material) a piesei ce se prelucrează. Acest lucru se realizează printre altele ca și în cazul tribologiei prin intermediul diferiților lubrifianți.

Rezultă că procesul de rectificare poate fi considerat ca un proces tribologic în care vom face unele precizări asupra cuplei de frecare care este predominantă.

2. Cupla de frecare utilizată

În timpul procesului de rectificare intră în contact:

— un material compozit constînd din granule de diamant sintetic, un material polimeric (rășină fenol-formaldehidică) precum și ingrediente, care împreună formează stratul activ al sculei. Diamantul sintetic folosit este de tip „rezinoidic", cu o structură tip „mozaic și acoperire metalică, asigurînd prin aceasta o bună fixare în liant și proprietăți de autoascuțire;

— un aliaj de tip WC+Co, obținut prin sinterizare (CMS sortul K20, conform ISO).

* Lucrarea a fost prezentată în cadrul celei de A treia Conferințe Internaționale de Rectificare, octombrie 4—6, 1988, Wisconsin, S.U.A.

Scanned with OKEN Scanner

Aspectele statistice ale proceselor de microaşchiere la rectificare se datoresc nu numai repartiţiei neuniforme a granulelor abrazive din stratul activ, ci şi caracterului aleatoriu al proceselor tribologice asociate, respectiv al frecării şi uzării acestor granule. De fapt discul abraziv şi piesa prelucrată pot fi considerate drept o cuplă de frecare tip II—1—C conform clasificării din lucrarea [2]. Această cuplă funcţionează în aer şi în prezenţa lichidului de prelucrare care au rol de lubrifiant, detergent şi agent de răcire.

Procesele de prelucrare prin rectificare au atît aspecte tehnologice cît şi tribologice [3]. Pe de o parte forţele de frecare din zona de contact determină în mare măsură procesul de rectificare datorită efectelor energetice ale acestora. Pe de altă parte creşterea vitezei de uzare a piesei prelucrate (debitul efectiv de rectificare) şi reducerea vitezei de uzare a stratului activ au drept rezultat mărirea eficienţei şi durabilităţii sculei abrazive. Utilizarea unor materiale ca diamantul, adecvat procesului de rectificare are drept scop tocmai creşterea rezistenţei la uzare a sculei.

3. Elemente de calcul

În tabelul 1 se prezintă comparativ principalii parametrii şi indicatori tehnologici şi respectiv tribologici folosiţi la studierea procesului de rectificare.

Parametrii tehnologici	Parametrii tribologici
Grosime echivalentă de rectificare, h_{eq} [μm]	Uzura lineară a piesei, h_w [mm]
Raza de uzură, Δ_r [mm]	Uzura lineară a discului, h_s [mm]
Materialul prelevat, V_w [m^3]	Uzura volumetrică a piesei, V_w [mm^3]
Uzura discului, V_s [mm^3]	Uzura volumetrică a discului, V_s [mm^3]
Timpul de rectificare, t [s]	Timpul de uzură, t [s]
Cantitatea de material prelevat pe mm lăţime de aşchiere, Z_w [mm^3/mm·s]	**Rata uzurii piesei, Z_w [mm^3/s]**
Raportul de rectificare, G	Raportul de uzură, Ø
Forţa normală, Fn [N]	Încărcarea normală, Fn [N]
Forţa tangenţială, Ft [N]	Forţa de frecare, Ff [N]
Energia specifică de rectificare, Esp [I/mm^3]	Lucru mecanic de frecare, W [w]
Durabilitate, T [λ]	Timpul de uzare, T [h]

Notaţiile pentru parametrii geometrici şi mecanici în procesul de rectificare plană sînt prezentaţi în fig. 17.1.

O menţiune aparte trebuie făcută pentru parametrul h_{eq} — grosimea echivalentă de rectificare, parametru propus de CIRP pentru inves-

Scanned with OKEN Scanner

tigarea proceselor de rectificare și cu ajutorul căruia se poate da o interpretare mai realistă rectificării ca proces tribo-ingineresc.

Relațiile de calcul ale principalilor indicatori sînt enumerate în continuare.

— uzura volumetrică a discului abraziv

$$V_s=\pi \cdot d_s \cdot b_s \cdot \Delta r_s \cdot 10^{-3} \ [mm^3] \qquad (1)$$

— randamentul de rectificare

$$G=V_w/V_s \qquad (2)$$

— raportul de uzare

$$\Phi=Z_s/Z_w, \qquad (3)$$

respectiv $\Phi=1/G$ (4)

— debitul efectiv de rectificare

$$Z_w=V_w/t \ [mm^3/s] \qquad (5)$$

— debitul de rectificare pe mm lățime de așchiere

$$Z'_w=V_w/b \cdot t) \ [mm^3/mms] \qquad (6)$$

respectiv $Z'_w=Z_w/b$ (7)

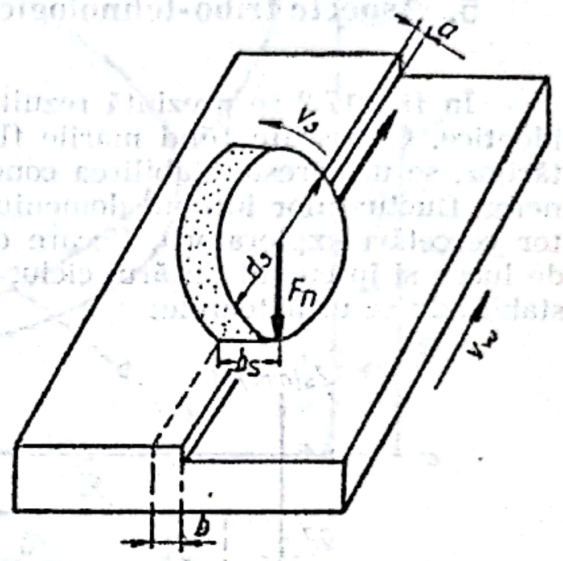


Fig. 17.1.

— uzura volumetrică a discului de rectificat

$$Z_s=V_s/t \ [mm^3/s] \qquad (8)$$

— grosimea echivalentă de rectificare

$$h_{eq}=Z_w/V_s \ [\mu m] \qquad (9)$$

— energia specifică de rectificare

$$E_{sp}=60 \ P \cdot t/V_w \ [J/mm^3] \qquad (10)$$

— durabilitatea discului de rectificat

$$T=V_a \cdot G/(3\,600 \cdot Z_w \cdot b) \ [h], \qquad (11)$$

în care V_a (mm) este volumul total de strat activ.

4. Metoda și condițiile de testare

Mașina unealtă: mașină de rectificat plan ELB tip RUBIN 026 VA 11
Scula: disc diamantat cu liant rezinoid tip 1A1 250-10-3;
Piesa: epruvete din CMS K20 (fabricație HERTEL) suprafața de rectificare 192 cm^2;
Lichid de prelucrare: obișnuit, debit 5 l/min (soluție 1 : 50);
Viteza periferică a discului: $v_s = 25$ m/min;
Viteza mesei: $v_w=16$ m/s;
Avansul transversal: $b = 6$ mm
Adîncimea de rectificare: $a=(5; 10; 15; 20; 25)\cdot 10^{-3}$ mm

Instalația permite măsurarea continuă a turației discului, avansului transversal, adîncimii de rectificare și energiei consumate. Măsurarea uzurii stratului activ se face periodic, fără a demonta discul de rectificat (un sistem electronic diferențial cu traductori inductivi).

5. Aspecte tribo-tehnologice

În fig. 17.2 se prezintă rezultatele testărilor a 6 discuri diamantate identice. Cunoscute fiind marile fluctuații statistice ale rezultatelor testărilor, se urmărește stabilirea condițiilor de lucru optime pentru menținerea fluctuațiilor într-un domeniu de variație acceptabil. În cazul acestor cercetări exploratorii, fiecare disc abraziv a fost testat la 10 cicluri de lucru și în cursul fiecărui ciclu, s-au prelevat 10 cm^3 carbură metalică, stabilindu-se următoarele:

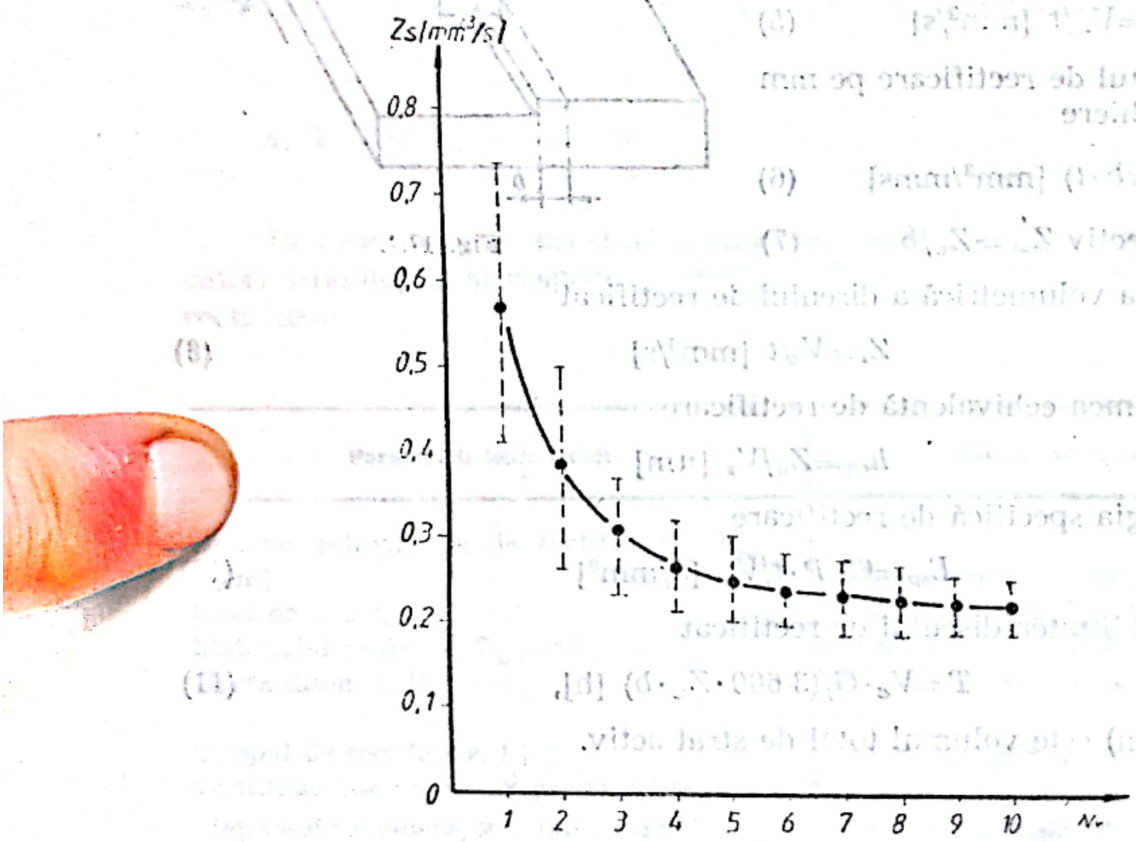


Fig. 17.2.

Domeniul fluctuațiilor statistice ale rezultatelor experimentale pentru primele două cicluri este $\pm 25 \ldots 30\%$, ceea ce impune eliminarea acestor valori.

Curba arată o tendință clară de stabilizare, fluctuațiile scăzînd sub 15% în a doua jumătate a testării.

Deci testarea discurilor diamantate va consta din 7 cicluri succesive, calculîndu-se apoi media ultimelor 5 cicluri de lucru. Pe această bază se va determina grosimea medie de disc uzat (Δr_s), folosită apoi la calculul indicatorilor V_s și G.

Scanned with OKEN Scanner

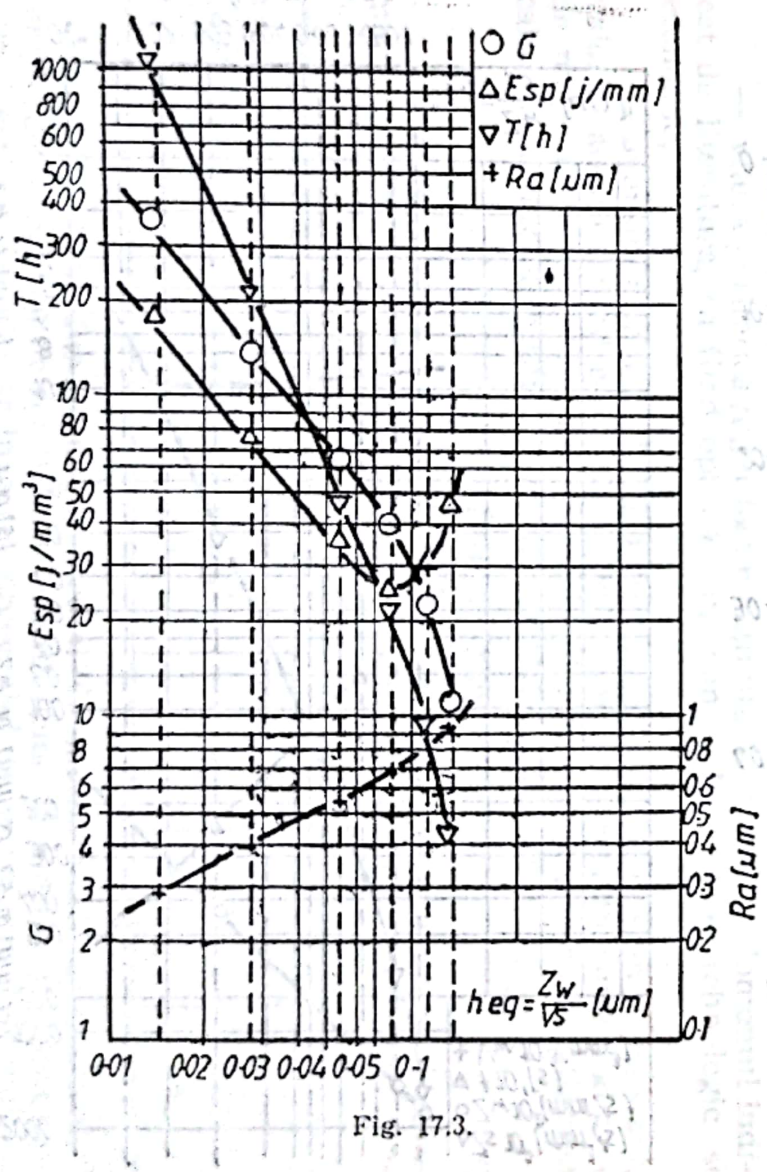


Fig. 17.3.

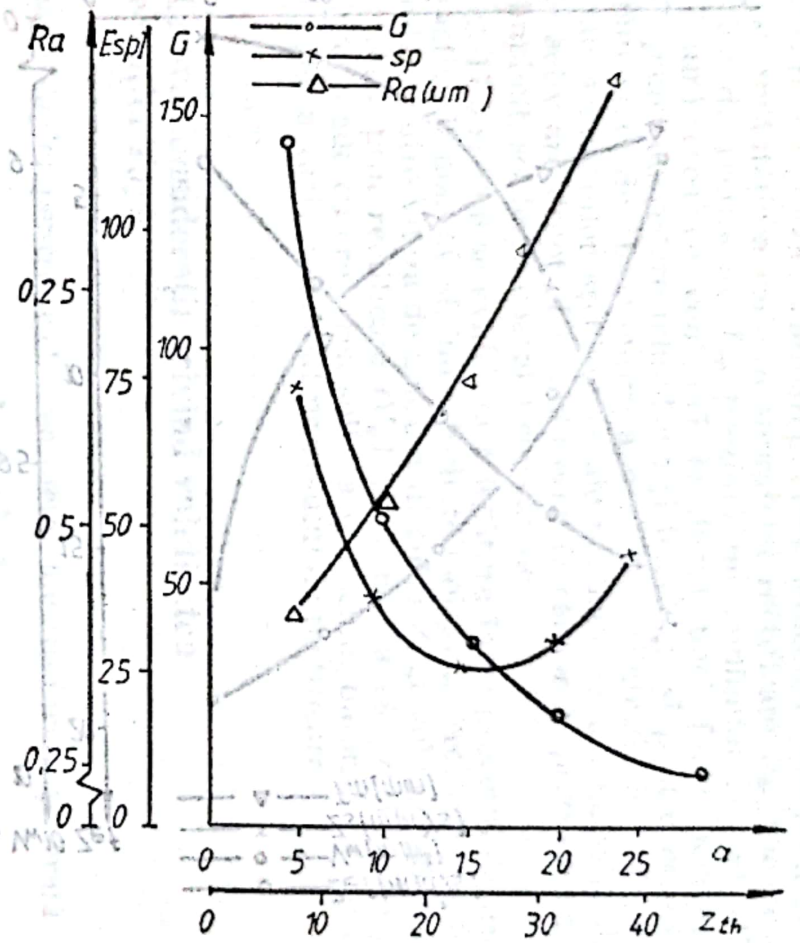


Fig. 17.4.

Scanned with OKEN Scanner

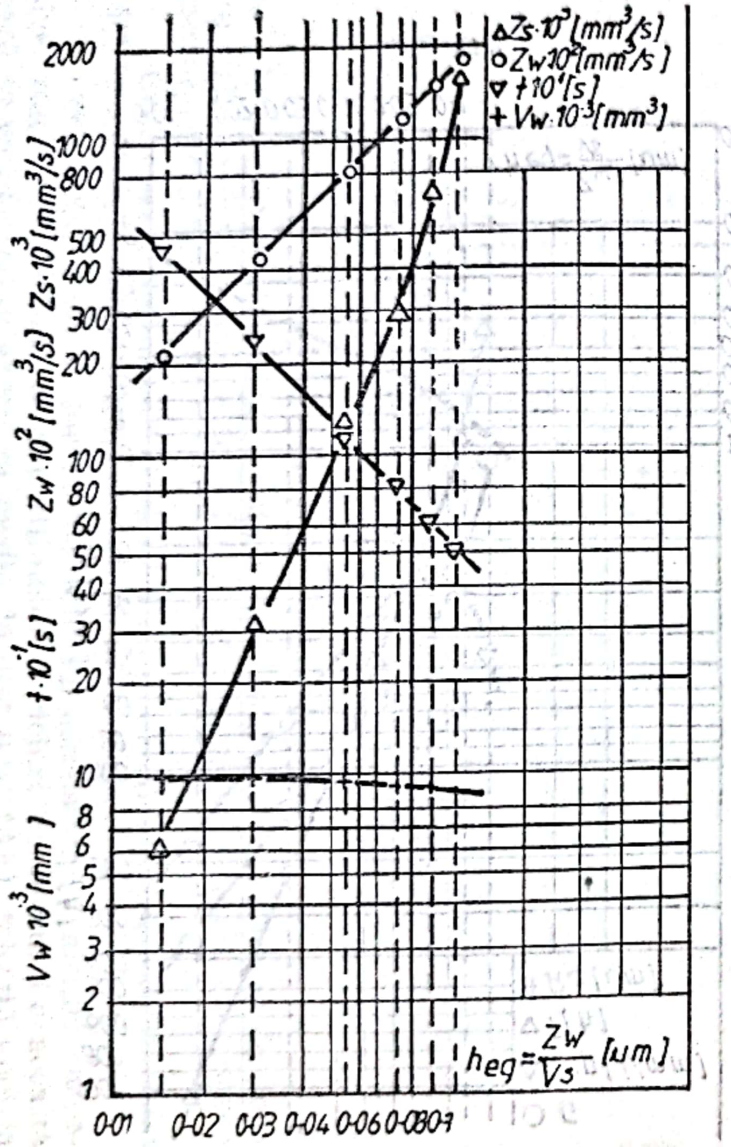


Fig. 17.5.

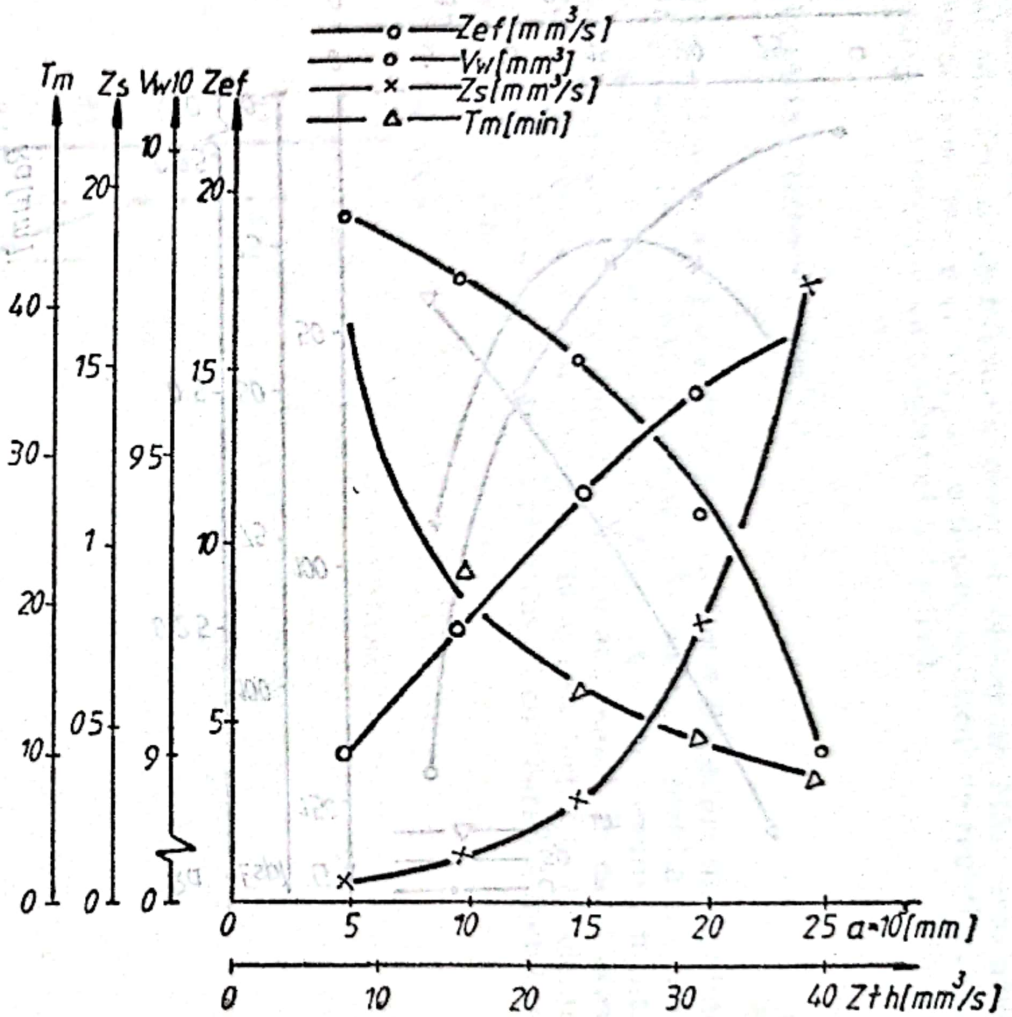


Fig. 17.6.

Scanned with OKEN Scanner

În fig. 17.3 și 17.4 este prezentată variația principalilor indicatori tehnologici funcție de adîncimea de rectificare și de grosimea echivalentă de rectificare. Creșterea Z_w are drept efect reducerea raportului de rectificare G și înrăutățirea calității suprafeței rectificate R_a. Curba energiei specifice de rectificare E_{sp} prezintă un minimum la $a=0{,}015$ mm ($h_{eq}=0{,}077$ μm) ceea ce confirmă existența unei forțe normale (F_n) optimă din punct de vedere tehnologic și tribologic și pentru care se asigură un bun efect de autoascuțire a granulelor extradure. Refacerea în mod spontan a muchiilor așchietoare ale particulelor de diamant sintetic din stratul activ are drept efect reducerea frecărilor în procesul de rectificare și, implicit, scăderea energiei consumate.

În fig. 17.5 și 17.6 se evidențiază legătura între procesul de uzare al stratului activ diamantat și indicatorii tehnologici. Prezintă un interes deosebit relația între viteza de uzare a discului Z_s și volumul de material prelevat efectiv prin rectificare (V_w). Se constată că precizia de prelucrare a piesei scade cu creșterea solicitării discului datorită uzurii accentuate a discului abraziv în timpul procesului de rectificare.

6. Cîteva considerații privind validitatea ecuației Taylor

Ecuația Taylor pentru așchierea metalelor are forma generală

$$v_s \cdot T^{\alpha} = B \cdot b^{\beta} \cdot a^{\gamma} \qquad (12)$$

În cazul special al rectificării, se propun cîteva simplificări:

— viteza periferică (v_s) a fost menținută constantă în domeniul indicat de literatură, ca fiind optimă din punct de vedere tehnologic și economic;

— avansul transversal (b) a fost menținut de asemenea constant, valorile acestuia fiind calculate folosind binecunoscuta formulă (indicată de majoritatea producătorilor de scule diamantate și pentru menținerea calității suprafeței rectificate (R_a) între limitele prescrise)

$$b=1+b_S/2 \text{ [mm]}. \qquad (13)$$

În consecință, adîncimea de rectificare (a) constituie singurul parametru variabil pentru care au fost determinați următorii indicatori tehnologici:

a [mm]	5	10	15	20	25
Z_{ef} [mm³/s]	4,17	7,50	11,67	14,17	16,00
G	145	63,8	40,5	21	12
T [min]	234	57	23	10	4

Se constată că durabilitatea discului diamantat variază exponențial funcție de adîncimea de rectificare, aceasta demonstrînd valabilitatea parțială a ecuației lui Taylor în cazul procesului de rectificare, în condițiile limitative descrise mai înainte. Pe baza prelucrării datelor se deduce o nouă relație de forma

$$T=6900\ a^{-2{,}11} \text{ [min]}. \qquad (14)$$

Scanned with OKEN Scanner

Ținînd seama de relația de proporționalitate

$$F_n \sim a, \tag{15}$$

relația (14) poate lua forma

$$T = KF_n^{-\beta}.$$

Aceasta este o relație de proporționalitate între durabilitatea discului abraziv, adică uzura stratului activ, și sarcina aplicată acestuia (F_n), ceea ce demonstrează valabilitatea legii uzurii lui Archard în cazul procesului de rectificare.

7. Tipuri de uzură a granulelor de diamant

În timpul procesului de rectificare, cupla de frecare funcționează într-un regim de vibrații staționare, cu ventre și noduri perfect determinate. Amplitudinea și, deci, efectul vibrațiilor cresc direct proporțional cu sarcina aplicată cuplei de frecare și exercită o influență deosebită asupra uzurii totale a stratului activ și asupra uzurii de transfer a materialului prelevat pe suprafața periferică a discului abraziv (fig. 17.7).

Măsurătorile au pus în evidență faptul că nivelul uzurii de transfer variază periodic, fiind proporțional cu regimul de vibrații. Amplitudinea maximă a curbelor și, deci, cantitatea de material transferat cresc cu încărcarea discului, în timp ce minimele tind către zero, corespunzător suprafeței curate.

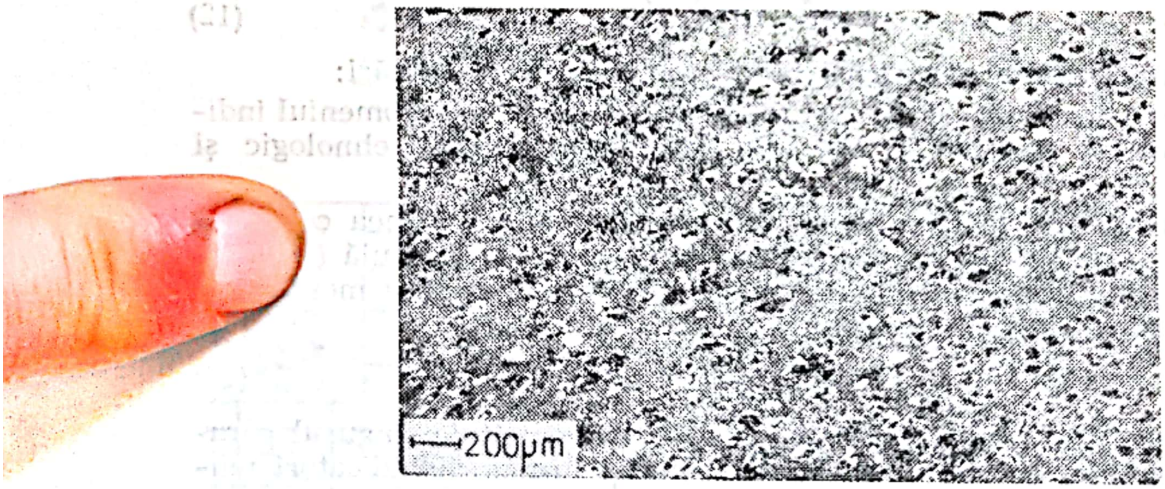


Fig. 17.7.

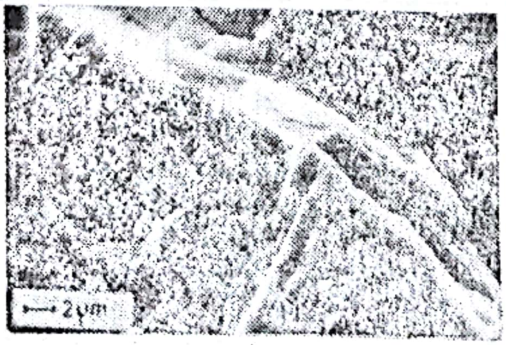


Fig. 17.8.

Fig. 17.9.

Investigarea stratului activ la măriri reduse cu ajutorul unui microscop electronic a pus în evidență, alături de uzura de transfer, și alte aspecte de metalizare a suprafeței.

Perfecta acordare a friabilității granulelor de diamant cu viteza de uzare a liantului rezinoid au drept efect autoascuțirea granulelor abrazive, adică formarea spontană a noi muchii așchietoare în locul celor tocite (fig. 17.8).

Optimizarea acestui fenomen are loc, în cazul de față, în jurul valorii a=0,015 mm. La debite de rectificare mari se observă sfărîmarea granulelor de diamant și eliminarea fragmentelor, în paralel cu reținerea în liantul mantalei de nichel (figura 17.9).

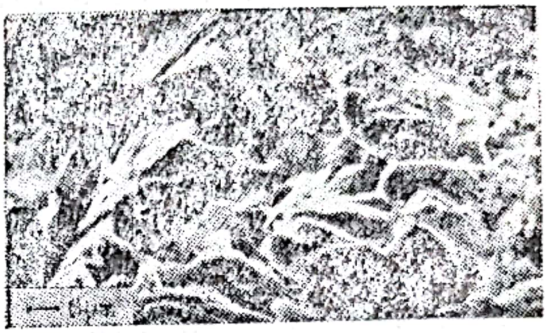


Fig. 17.10.

Granulele abrazive din stratul activ al discului de rectificat poartă amprenta tuturor celor patru mecanisme principale de uzare. A fost observată curent *uzura de adeziune* a granulelor, fenomen însoțit de formarea tăișului de depunere.

Uzura de abraziune este mai rar sesizată datorită durității extreme a diamantului.

Uzura de coroziune (interacțiunea tribochimică a diamantului cu mediul ambiant și materialul piesei) apare la toate încărcările și se evidențiază prin tocirea muchiilor așchietoare.

Al patrulea mecanism de uzare — *uzura de oboseală* — are drept rezultat sfărîmarea granulelor de material extradur. Acest fenomen domină celelalte tipuri de uzură la sarcini mari (a>0,02 mm) datorită solicitărilor mecanice și termice ridicate și constituie un proces de „friabilitate“ scăpat de sub control (fig. 17.10).

8. Concluzii

a. În timp ce tribologia își propune, în general, reducerea vitezei de uzare a ambelor piese componente ale cuplei de frecare, tehnologia mecanică de prelucrare prin rectificare urmărește reducerea uzurii sculei abrazive și stimularea prelevării de material. Datorită prețului ridicat al diamantului sintetic, debitul de material prelevat trebuie să fie cu cel puțin un ordin mai mare decît viteza volumetrică de uzare a discului abraziv.

b. O primă apreciere a eficienței procesului de rectificare se face cu ajutorul indicatorului G. În condițiile unui volum de material prelevat constant, G este invers proporțional cu viteza de uzare a discului abraziv.

c. Pentru parametrii de lucru din prezenta lucrare se constată optimizarea tehnologică pentru a=0,015 mm (h_{eq}=0,077 μm), pentru care fenomenele de microașchiere și autoascuțire decurg în cele mai bune condiții.

d. Procesul de rectificare este perturbat de formarea unui strat de uzură de transfer pe suprafața abrazivă. Formarea acestui strat este accelerată de existența unui regim de vibrații staționare a discului de rectificat.

Scanned with OKEN Scanner

e. Uzarea stratului activ diamantat se datorește tuturor celor patru mecanisme de uzare principală. Ponderea fiecărui mecanism în parte depinde de condițiile de prelucrare mecanică.

f. S-a constatat valabilitatea parțială a relației de durabilitate propusă de Taylor. Aceasta confirmă încă o dată justețea abordării proceselor abrazive cu ajutorul teoriei microașchierii.

BIBLIOGRAFIE

1. PEKLENIC, I. Contribution to a corelation theory for the grinding process. ASME, Paper No 63-PROD-25.
2. PAVELESCU, D. ș.a. Tribologie. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1977.
3. MARINESCU, I. D., DIMITROV, B., GHEORGHIU, Z. și GRIGORESCU, AL. Some Aspects Concerning Wear and Tool Life of Diamand Wheels. Annals of the CIRP, vol. 32/1/1983.
4. ILIUC, I. Trybology of thin layers. New York, Elsevier Publ. Comp. 1980.
5. KRAGELSKY, I. V., ALISIN, V. V. Friction, wear, lubrification. Moscova, vol. I, II, Mir. Publ. 1981.

Scanned with OKEN Scanner

VI

INGINERIA CALITĂȚII FIABILITATE

Scanned with OKEN Scanner

18
Metode de control și diagnosticare

Dr. ing. *Mihai Ștefan Teodorescu*
Dr. ing. *Nicolae Lașcu Simion*
Institutul de Cercetări Metalurgice

1. Analize structurale

Influența structurii asupra proprietăților mecanice ale materialelor metalice.

Proprietățile mecanice ale materialelor metalice sînt determinate de structura lor. Ca urmare, analiza structurii metalului este un mijloc important pentru aprecierea *calității* acestuia, atît pentru utilajele noi cît și pentru evidențierea cauzelor unor cedări.

Structura unui aliaj feros sau neferos poate fi formată din unul sau mai multe elemente numite *constituenți structurali*. La nivelul lor, constituenții structurali sînt alcătuiți din una sau mai multe *faze* ale sistemului respectiv. Constituenții structurali ai aliajelor feroase sau neferoase pot fi, în principal:

— *metale pure*, caracterizate printr-o rețea cristalină constituită dintr-un singur fel de atomi, printr-o temperatură unică de topire sau de solidificare și prin cristale de formă poliedrică;

— *soluții solide*, caracterizate printr-o rețea cristalină, formată din două sau mai multe feluri de atomi și printr-un interval de temperaturi de topire sau de solidificare; soluția solidă apare în sistemele ai căror componenți sînt complet miscibili în stare lichidă și total sau parțial miscibili în stare solidă;

— *amestecul mecanic*, alcătuit din două sau mai multe faze, care se separă simultan din lichid (eutectic) sau din soluția solidă (eutectoid), la o temperatură și concentrație bine determinate;

— *compuși definiți*, caracterizați printr-o rețea cristalină proprie și printr-o temperatură unică de topire sau solidificare; compusul definit se prezintă printr-o formulă chimică ce nu respectă, întotdeauna, legea valenței.

Metalele pure, în comparație cu aliajele, au limita de curgere, rezistența la rupere și duritatea mici, iar plasticitatea, mare. Aceste proprietăți sînt, însă, puternic influențate de o serie de factori, dintre care cei mai importanți sînt: conținutul în impurități, mărimea de grăunte, gradul de deformare la rece, temperatura de încercare etc.

Proprietățile mecanice ale soluțiilor solide depind de natura componentului de bază, de elementele de aliere (natură și conținut), de mărimea grăuntelui și starea structurală (în echilibru sau în afara echilibrului).

Compușii definiți sînt, în general, foarte fragili și pot suferi numai deformări în regim elastic.

Scanned with OKEN Scanner

Proprietățile mecanice ale aliajelor eterogene depind, în principal, de următorii factori: proprietățile fiecărei faze, raportul cantitativ dintre faze, forma de distribuție și dispersia acestora. Influența acestor factori asupra proprietăților mecanice este deosebit de complexă, prezentînd particularități de la un aliaj la altul.

În general, influența structurii asupra proprietăților mecanice este deosebit de complexă și este tratată în numeroase lucrări de specialitate

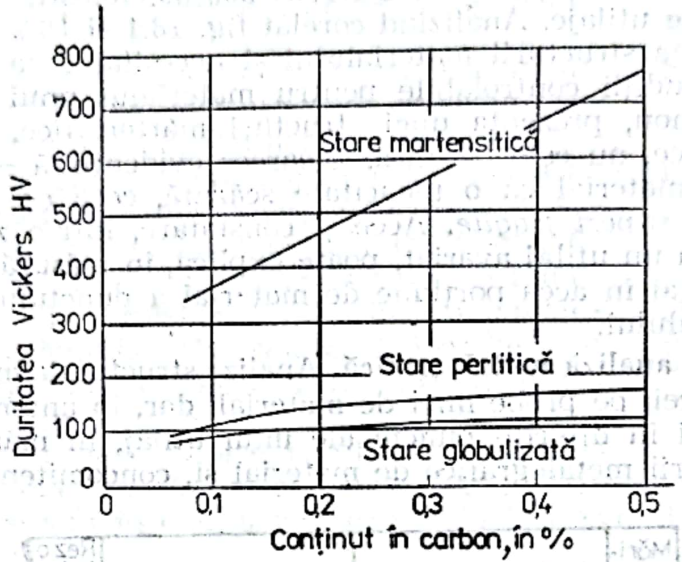


Fig. 18.1.

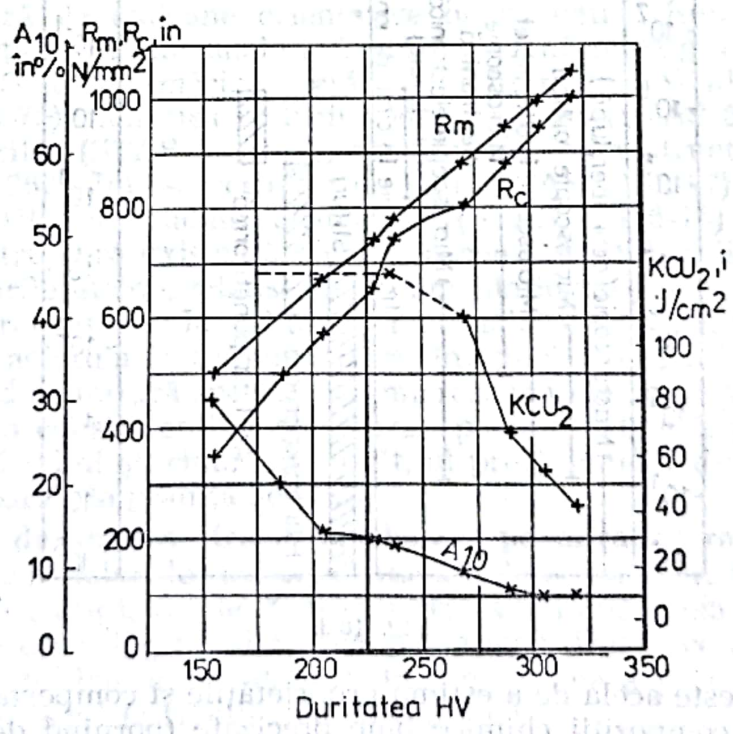


Fig. 18.2.

[1—8]. Pentru a forma o imagine a influenței structurii asupra proprietăților mecanice, se prezintă, cu caracter de exemplu, modul în care aceasta determină variația caracteristicilor mecanice în cazul oțelului, principalul material de construcție folosit în petrochimie. Astfel, în fig.

Scanned with OKEN Scanner

18.1 se prezintă durităţile medii ale oţelurilor, în funcţie de conţinutul în carbon şi principalii constituenţi structurali.

Starea martensitică corespunde la duritatea maximă, starea perlitică — la structura de echilibru după normalizare şi starea globulară — la structura cu o duritate minimă. Între duritate şi caracteristicile mecanice este o corelaţie specifică pentru fiecare marcă de oţel. De exemplu, în fig. 18.2 se prezintă variaţia caracteristicilor mecanice, în funcţie de duritate, în cazul unui oţel de tip OL 44-2 STAS 500-80, folosit, în mod curent, în construcţia de utilaje. Analizînd corelat fig. 18.1 şi 18.2 rezultă importanţa deosebită a structurii materialului şi necesitatea ca aceasta să fie asigurată în condiţii controlabile pentru materialul unui utilaj. Astfel, într-un utilaj nou, prezenţa unei structuri martensitice, în locul unei structuri perlitice, nu este permisă, deoarece evidenţiază — în zona respectivă — un material cu o tenacitate scăzută, ceea ce poate favoriza amorsarea unei *ruperi fragile*. Aceeaşi constatare, într-o zonă de amorsare a ruperii la un utilaj avariat, poate explica, în măsură considerabilă, localizarea tocmai în acea porţiune de material a punctului de iniţiere a *fisurării* materialului.

Metode de analiză metalografică. Analiza structurală metalografică se execută, de obicei, pe probe mici de material, dar, în anumite situaţii, se poate efectua şi în diferite puncte ale unui utilaj, în mărime naturală. Scopul examinării metalografice de material şi, concomitent, al cercetării

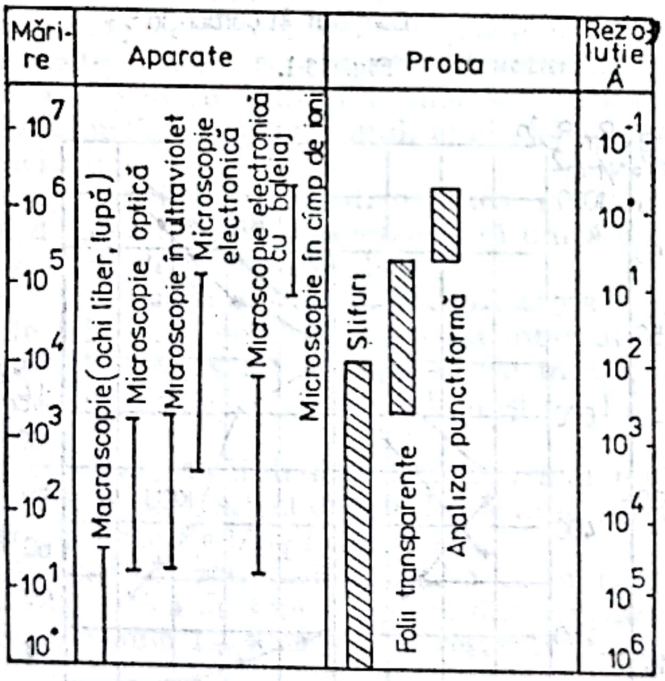


Fig. 18.3.

metalografice este acela de a estima proprietăţile şi comportarea metalelor în cazul unei compoziţii chimice bine precizate (pornind de la structura vizibilă macro şi microscopic la suprafaţa materialului) şi a indica cea mai favorabilă structură pentru o anumită utilizare sau prelucrare. În acelaşi timp, aceste examinări metalografice au devenit un procedeu important de control a producţiei curente şi pentru elucidarea cauzelor de cedări. Pentru a se putea obţine date concludente, referitoare la structura materialului, analiza metalografică trebuie efectuată la măriri corespunzătoare,

Scanned with OKEN Scanner

pentru a evidenția — cu o claritate suficientă — constituenții structurali urmăriți. Aparatura de cercetare metalografică este adaptată acestor exigențe și, din punctul de vedere al principalelor performanțe (putere de mărire și rezoluție a imaginii), realizează nivelurile indicate în fig. 18.3. La metoda microscopică de cercetare, rezultatele sînt vizibile numai cu un microscop metalografic. Microscoapele metalografice lucrează cu lumină incidentă și sînt utilizabile, de obicei, pînă la o mărire de circa 1 000 : 1. Măriri mai mari, pînă la 100 000 : 1, se obțin cu microscoape electronice.

Cercetările la microscopul optic cer o pregătire atentă a probelor, după cum urmează: prelevare corectă a probelor din piesă; șlefuire; lustruire metalografică; atacul probei. Scopul atacului este acela de a face vizibili diferiții constituenți structurali ai suprafeței lustruite a metalului probei. În funcție de efectul substanței de atac asupra metalului, la iluminare ia naștere un contrast închis-deschis sau o nuanțare diferită a grăunților. Ca urmare, se deosebesc un atac al limitei grăunților (fig. 18.4, *a*) și atacul suprafeței grăuntelui (fig. 18.4, *b*).

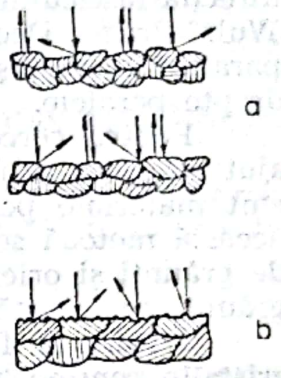


Fig. 18.4.

La cercetări macroscopice, rezultatele sînt vizibile cu ochiul liber sau la mărire mică. Sînt incluse verificările segregației de fosfor și sulf în oțel, verificarea sudurii și evoluția fibrei la piese forjate.

Cercetările metalografice la produse metalurgice sînt, de obicei, cercetări pe bază de etaloane orientative de structuri. Reprezentative, în această direcție, sînt etaloanele referitoare la: mărimea grăuntelui în oțeluri (STAS 5490-80); mărimea grăuntelui în metale și aliaje neferoase (STAS 10013-75); mărimea incluziunilor în oțeluri (STAS 5949-80); porozitatea oțelurilor (STAS 5998-78); constituenții microstructurali ai oțelurilor (STAS 7626-78); segregațiile de sulf (STAS 7839-67); nivelul fazei alfa în oțelurile inoxidabile austenitice (STAS 10456-75). Prin compararea între structura existentă efectiv în componenta analizată a utilajului și structurile etalon, admise în documentație, se pot obține informații importante referitoare la calitatea materialului respectiv, nivelul de degradare al acestuia în timpul punerii în operă sau al utilizării în instalație. Folosind aparatură specială, ca microsonda electronică și microsonda ionică, analiza constituenților structurali poate fi adîncită pînă la nivelul grăunților cristalini și, chiar mai mult, al precipitatelor din grăunții cristalini sau separați la granița acestora.

Metode de analiză structurală bazate pe difracția razelor X. Dacă, în drumul fasciculelor de raze *X*, difractate de o probă cristalină, se așază o peliculă fotografică, razele *X* difractate o vor impresiona și se va obține o imagine de difracție, numită *roentgenogramă*. Deoarece aspectul roentgenogramei este determinat de structura cristalină a probei, prin examinarea acesteia se poate stabili structura probei.

Se cunosc următoarele metode de analiză roentgenostructurală: metoda Laue, metoda cristalului rotitor și metoda pulberilor. Primele două metode sînt folosite în analiza monocristalelor, iar ultima, la analiza materialelor policristaline.

La metoda Laue, un fascicul de raze *X* cade pe un monocristal imobil, ale cărui plane cristalografice fac — cu direcția fasciculului — diferite

Scanned with OKEN Scanner

unghiuri fixe. Fiecare serie de plane cristalografice va difracta din fascicul acele raze X, a căror lungime de undă satisface legea Wulff-Bragg.

La metoda cristalului rotitor, proba se montează pe axul unei camere cilindrice, cu una din laturile sale paralelă cu axul camerei. Filmul se așază pe pereții camerei. Fasciculul de raze X este monocromatic și cade perpendicular pe axul camerei. În timpul expunerii, datorită mișcării de rotație a cristalului, fiecare serie de plane cristaline va devia direcția fasciculului, în anumite momente, cu unghiuri care satisfac legea Wulff-Bragg. Deoarece aceste conuri intersectează filmul după cercuri paralele, la desfășurarea filmului, spoturile se vor afla pe o serie de linii drepte paralele.

Pentru cercetarea materialelor policristaline, probele, preluate cu ajutorul unor tehnici speciale, sînt formate din pulberi foarte fine sau sînt materiale policristaline cu grăunți foarte mici, motiv pentru care această metodă se numește metoda pulberilor. Datorită numărului mare de grăunți și orientării lor întîmplătoare, se găsesc, totdeauna, suficienți grăunți cu orientările necesare pentru a produce toate reflexiile posibile.

Oricare ar fi metoda folosită, roentgenograma unui material policristalin conține, totdeauna, o serie de linii. O astfel de roentgenogramă se caracterizează, în primul rînd, prin poziția liniilor și prin intensitatea lor. Poziția liniilor este determinată de direcțiile de difracție posibile, direcții care depind numai de forma și mărimea celulei elementare. Intensitatea unei linii de pe roentgenogramă sau, cu alte cuvinte, intensitatea fasciculului difractat, care produce o anumită linie pe roentgenogramă, depinde de modul de distribuție a atomilor în celula elementară, în funcție de acest factor fasciculele difractate putînd avea intensități diferite, în unele cazuri chiar zero; în aceste cazuri, de pe roentgenogramă vor lipsi liniile corespunzătoare acestor fascicule. Intensitatea unei linii de pe roentgenogramă este determinată de o serie de factori, ca: factorul de structură, factorul unghiular, factorul de repetiție, factorul de absorbție și factorul de temperatură.

Principalele informații care se obțin prin analizele roentgenostructurale sînt: • raportul cantitativ între fazele care alcătuiesc un aliaj; • tipurile de soluții solide prezente într-un aliaj; • textura materialelor metalice.

2. Defectoscopie

Defectoscopie cu radiații penetrante. Defectoscopia cu radiații penetrante se bazează pe proprietatea acestora de a traversa corpurile solide. Folosind un detector special (film Roentgen, ecran fluorescent, placa xeroradiografică etc.), se pun în evidență defectele interioare, obținîndu-se în caz de necesitate, o înregistrare a *imaginii defectului*. Prin defectoscopia cu radiații penetrante se verifică piesele care se execută prin procedee tehnologice a căror aplicare corespunzătoare trebuie confirmată printr-o metodă de control nedistructiv ale cărui rezultate să fie materializate printr-un document (radiografie) reconfirmabil în timp.

Controlul nedistructiv cu radiații penetrante se utilizează în special la:

— *îmbinări sudate*, pentru a descoperi incluziuni de gaze sau de zgură în metalul depus, suduri incomplete sau fisuri în materialul de bază sau în cel depus;

— *piese turnate,* pentru a descoperi eventuale porozități, sufluri, crăpături, turnări incomplete, incluziuni de zgură sau de alte materiale.

Încercările nedistructive radiologice, din punctul de vedere al radiațiilor utilizate și din cel al redării defectelor, prezintă următoarele particularități:

a. Mărimea (grosimea) unui defect se poate evidenția printr-o singură radiografie numai prin folosirea, în același timp (la aceeași expunere), a unor plăci cu defecte etalon.

b. Poziția unui defect interior se poate determina prin mai multe metode, și anume:

— se execută, dacă este posibil, o a doua radiografie, pe o direcție perpendiculară pe prima;

— se execută o radiografie sub un unghi oarecare față de prima radiografie; în acest caz, cu notațiile din fig. 18.5, poziția defectului este dată de expresia:

$$x = bc/(a + b); \qquad (1)$$

— se execută o radiografie stereoscopică, realizată prin efectuarea a două radiografii, din două puncte aflate la o anumită distanță.

c. Vizualizarea defectelor se poate face prin înregistrare pe filme sau plăci xeroradiografice, iar în cazul în care nu este necesară înregistrarea, prin fluoroscopie (pe ecran fluorescent). În cazul utilizării de filme, efectul grosimii mari a pieselor poate fi compensat prin creșterea duratelor de expunere.

Xeroradiografia este procedeul prin care se obțin imagini radiografice utilizînd proprietatea unor materiale (seleniu) care, în condiții obișnuite, sînt izolatoare sau semiconductoare, devenind, însă, bune conducătoare de electricitate dacă sînt ținute într-un fascicul de radiații. Numele vine de la cuvîntul grecesc „Xeros" care înseamnă *uscat,* xeroradiografia fiind o radiografie obținută pe cale uscată. Marele avantaj al xeroradiografiei este că înlocuiește utilizarea de materiale fotosensibile, ieftinind procesul radiografic, întrucît o placă xeroradiografică poate fi utilizată de un număr mare de ori.

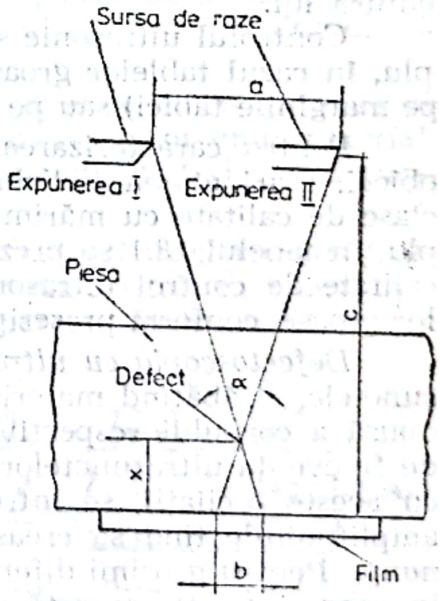


Fig. 18.5.

Metoda fluoroscopică se utilizează în cazurile cînd nu trebuie să se păstreze imaginea piesei analizate. Metoda constă în obținerea imaginii obiectului, expus razelor Roentgen, pe un ecran fluorescent, care, în funcție de intensitatea radiației primite, devine luminescent. Avantajele metodei constau în rapiditatea examinării și în costul redus al acesteia. Dezavantajul ei constă într-o sensibilitate mai redusă decît la metoda radiografică și în faptul că grosimea pieselor de verificat este mai mică decît în cazul metodei radiografice.

În cazul defectoscopiei cu radiații penetrante, o atenție deosebită trebuie acordată problemelor de protecție a muncii, acțiunea acestora asupra corpului uman fiind foarte nocivă.

Scanned with OKEN Scanner

Defectoscopie cu ultrasunete. Ultrasunetele sînt vibraţii cu frecvenţa superioară frecvenţei sunetelor, şi anume cuprinsă între 20 kHz şi 20 MHz. Ultrasunetele, ca şi sunetele, se propagă numai prin medii elastice. Propagarea ultrasunetelor se face prin deplasarea particulelor succesive ale mediului. În mediul elastic, aceste particule se întorc în poziţia iniţială, după trecerea ultrasunetelor, printr-o mişcare amortizată. Pentru producerea ultrasunetelor, se utilizează, în general, *efectul piezoelectric* al anumitor materiale, dintre care cel mai folosit este cristalul de cuarţ. Acesta este introdus într-o construcţie adecvată numită *palpator*.

Deoarece, între aer şi solid, ultrasunetele sînt aproape în întregime reflectate şi nu intră în solid, atît pentru introducerea de ultrasunete cît şi pentru detecţie, între palpator şi piesa controlată se utilizează o *peliculă de cuplare* din apă, ulei, glicerină etc. Sursa de ultrasunete (palpatorul), prin construcţie, poate induce — în piesa examinată — unde normale pe suprafaţa acesteia sau sub un unghi dat (palpatoare înclinate). În funcţie de aparatura disponibilă, examinarea se poate efectua manual, semiautomat sau automat. Cu ajutorul unei operaţiuni speciale, este posibilă vizualizarea defectelor şi înregistrarea lor.

Defectoscopia cu ultrasunete se aplică la depistarea defectelor de orice tip: incluziuni nemetalice, retasuri, fisuri, sufluri etc., existente în piesele turnate, forjate sau laminate. Controlul se efectuează, cu rezultate mai sigure, pe piesele cu structura omogenizată prin tratament termic. Se pot controla piese foarte mari, cu condiţia ca ele să aibă contur simplu. Pentru contururi mai complicate, se pot folosi metode speciale, însă rezultatele nu sînt întotdeauna sigure şi o verificare prin alte metode este utilă. Se pot descoperi şi defecte foarte mici, însă, în cazul lor, se precizează exact distanţa la care se găseşte defectul şi mai puţin forma şi natura lui.

Controlul ultrasonic se poate efectua în anumite porţiuni (de exemplu, în cazul tablelor groase, pe suprafaţa lor prin metoda caroiajului şi pe marginile tablei) sau pe întreaga suprafaţă a piesei.

Pentru caracterizarea calităţii materialului (piesei), se folosesc, de obicei, scări etalon indicînd numărul maxim de defecte admisibile sau clase de calitate cu mărimi şi frecvenţe de defecte admisibile. Ca exemplu, în tabelul 18.1 se prezintă condiţiile tehnice referitoare la clasele de calitate de control ultrasonic în cazul examinării pe suprafaţă a tablelor groase, conform prescripţiilor tehnice C36 — ISCIR [27].

Defectoscopia cu ultrasunete bazată pe principiul rezonanţei. Ultrasunetele, străbătînd materialul de încercat, se reflectă de către suprafaţa opusă a corpului respectiv. În funcţie de caracteristicile materialului şi de frecvenţa ultrasunetelor, se pot produce unde staţionare. Dacă, în fază cu aceste oscilaţii, se introduc — în continuare — ultrasunete, atunci amplitudinile tind să crească spre infinit, ca la orice fenomen de *rezonanţă*. Pentru grosimi diferite de material, frecvenţa de rezonanţă variază în consecinţă. Pe această proprietate se bazează detectarea defectelor şi măsurarea grosimilor prin *ultrasunete în rezonanţă*. Procedeul de detectare a prezenţei şi poziţiei unor defecte, cum sînt golurile, fisurile etc., este următorul: se introduce, în piesă, un fascicul de ultrasunete; se variază frecvenţa acestora, pînă apare rezonanţa; se notează această frecvenţă; se variază, în continuare, frecvenţa, pînă la proxima rezonanţă. Cunoscînd cele două frecvenţe succesive, rezultă lungimea parcursă. Dacă această lungime corespunde cu grosimea piesei, în direcţia în care s-au proiectat ultrasunetele, atunci înseamnă că nu există vreun defect pe

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 18.1. **Clasele de calitate la controlul ultrasonic al tablelor groase**

Clasa de calitate	Suprafața celei mai mici discontinuități luată în considerație, cm²	Suprafața celei mai mari discontinuități admise, cm²	Frecvența admisibilă a discontinuității[1]	
			Local[2] pe fiecare m²	Raportată la suprafața totală a tablei pe fiecare m²
0[3]	0,5	—	0	0
1	0,5	1	Pînă la 4	Pînă la 2
2	0,5	1	Pînă la 30	Pînă la 15
3	1	10	Pînă la 10	Pînă la 5
4	1	10	Pînă la 50	Pînă la 30
5	10	100	Pînă la 1	Pînă la 1 pe fiecare 2 m²
6	10	100	Pînă la 5	Pînă la 3 pe fiecare 2 m²

[1] Discontinuitățile apropiate, avînd mărimea de pînă la 1 cm² sau de pînă la 10 cm² (corespunzătoare claselor de calitate 1...4) cu o distanță între marginile celei mai apropiate mai mică decît lungimea celei mai mici discontinuități se consideră o singură discontinuitate. În cazul mai multor discontinuități apropiate, acestea se vor aprecia succesiv două cîte două.

[2] Indicațiile se referă la o suprafață de 1 m×1 m.

[3] Clasa de calitate „zero" poate fi realizată numai pe porțiuni din suprafața tablei și numai pentru instalații cu cerințe deosebite de siguranță.

această direcție. În caz contrar, se poate determina distanța dintre defect și suprafața care primește ultrasunetul. Evident, procedeul poate fi utilizat și la *măsurarea grosimilor* pieselor. În acest scop, a fost dezvoltată o gamă de aparate specializate.

Energia transmisă prin ultrasunete scade din ce în ce, pe măsură ce lungimile de undă se apropie de dimensiunile cristalelor unui material. Se poate determina, în modul acesta, structura unui material și dimensiunile grăunților cristalini.

Defectoscopia cu ultrasunete bazată pe principiul transparenței (metoda umbrei). La această metodă se utilizează două cristale de cuarț, așezate în două puncte diferite ale piesei de încercat. Printr-unul dintre cristale se transmite un fascicul continuu de ultrasunete, iar prin celălalt se recepționează semnalul transmis. Dacă energia ce se propagă între diferite puncte, pentru piese similare, variază, atunci rezultă că în piesa cu diferențe de semnal recepționat există discontinuități. Undele sînt de asemenea afectate de neomogenitățile din material.

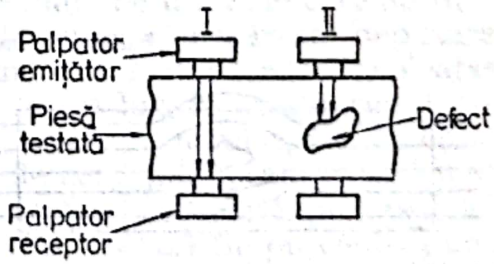


Fig. 18.6.

În fig. 18.6 este prezentat principiul metodei. Defectul se înregistrează printr-o anulare sau atenuare importantă a energiei transmise. Metoda este eficientă și în cazul în care se folosește aparatura specială, care permite vizualizarea golurilor sau a discontinuităților dintr-un material.

Defectoscopia cu impulsuri de ultrasunete (metoda ecoului). Principiul metodei constă în a recepționa un semnal emis într-un mediu și

Scanned with OKEN Scanner

reflectat de discontinuitățile acestuia. Aparatura cea mai răspîndită, pentru aceste încercări, se compune dintr-un generator care produce impulsuri cu o durată de cîteva microsecunde. Oscilația este transmisă la un palpator, care se găsește pe piesa de încercat. Impulsul străbate piesa și este reflectat, fie pe peretele opus, fie de o discontinuitate interioară oarecare (fig. 18.7). Palpatorul primește și transmite, atît impulsul inițial cît și cele reflectate, la un oscilograf catodic, unde, cunoscînd frecvența bazei de timp a acestuia și caracteristica sa, se vizualizează distanța pînă la punctul de reflecție.

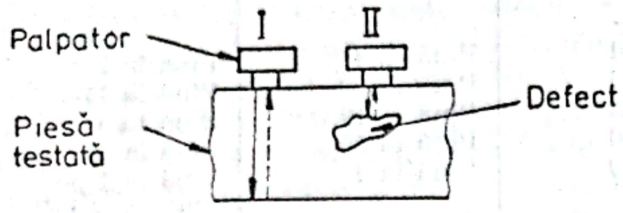


Fig. 18.7.

În apropierea suprafeței pe care se cuplează palpatorul se află o „zonă moartă", a cărei mărime depinde, în principal, de frecvența de lucru și de diametrul cristalului palpatorului. În cazul frecvenței de 6 MHz, un palpator cu diametrul cristalului de 10 mm poate avea o zonă moartă de 6 mm, în care nu se poate depista prezența defectelor. Din acest motiv, grosimea minimă a pieselor verificabile este limitată.

Defectoscopie magnetică. Metodele magnetice, spre deosebire de cele ultrasonice sau prin radiații, permit — în principal — determinarea defectelor de suprafață. Aceste metode se bazează pe *dispersia liniilor* de flux magnetic sau electric, cînd acestea întîlnesc discontinuități în material. Piesa de încercat este traversată de un flux magnetic, fiecare gol din interiorul ei jucînd rolul unui întrefier. Vizualizarea se realizează prin pulbere de fier (fig. 18.8). Se pot detecta, în acest mod, defectele ale căror dimensiuni semnificative sînt normale direcției fluxului magnetic. De aceea, pentru o încercare completă, sînt necesare verificări pe două direcții perpendiculare.

În practică, există o mare varietate de aparate de încercare, realizate pe baza principiului expus mai sus. Diferența dintre diferitele tipuri de aparate constă în metoda utilizată pentru magnetizare, modul de circulație a curentului, natura curentului electric utilizat și modul de aplicare a pulberii magnetice. Cîmpul magnetic se produce în jurul piesei în curs de încercare, în timp ce pulberea feromagnetică se pune în contact cu piesa. Se poate utiliza și magnetismul remanent al piesei. În acest din urmă caz, pulberea feromagnetică este aplicată după ce piesa se scoate din cîmpul de magnetizare. Există, de asemenea, posibilitatea utilizării unui electromagnet separat, între armăturile căruia se introduce piesa sau se poate utiliza piesa ca electromagnet, prin introducerea acesteia în interiorul unui solenoid.

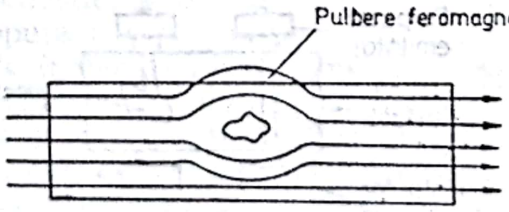


Fig. 18.8.

În privința naturii curentului electric, se utilizează curent alternativ, care prezintă un consum redus și o bună detecție a fisurilor de suprafață. Se poate folosi și curent continuu, în care caz se pot detecta și defecte mai adînci, dar piesa se încălzește. Pentru materiale care prezintă un magnetism remanent puternic, pentru magnetizare se pot utiliza impulsuri de curent.

Scanned with OKEN Scanner

În privința modului de aplicare a pulberii magnetice, aceasta se poate prezenta în stare uscată, sau sub formă de suspensie. Experiența arată că metoda uscată este mai sensibilă la detectarea defectelor de profunzime, însă nu se poate realiza o repartiție uniformă a pulberii, ceea ce constituie un mare dezavantaj.

După încercare, este necesar să se demagnetizeze piesa. Metoda nu este aplicabilă în cazul oțelurilor austenitice.

Defectoscopie electromagnetică. Metodele electromagnetice constau în determinarea proprietăților electromagnetice ale piesei, proprietăți care depind de defectele din piesă, de structura internă sau de compoziția chimică. Complexitatea dependenței proprietăților electromagnetice de diverși factori face ca metoda să fie aplicabilă pentru compararea a două piese, pentru a se verifica dacă sînt identice sau nu.

Măsurările făcute pe cale electromagnetică depind atît de permeabilitatea, cît și de rezistivitatea materialului, deoarece, lucrînd în curent alternativ, se produc curenți Foucault în piesa de studiat. Pierderile produse de curenții Foucault depind de rezistivitatea diferiților constituenți metalografici, ceea ce înseamnă că, pe cale electromagnetică, se măsoară o caracteristică complexă a piesei care se examinează: diferență de structură, de formă etc. Această metodă poate fi folosită, cu succes, la selectarea pieselor bune de cele necorespunzătoare.

Încercări cu lichide penetrante. Ca și la încercarea magnetică, procedeul servește la detectarea defectelor de suprafață (fisuri, rizuri etc.). El prezintă avantajul că poate fi aplicat și materialelor nemagnetice, acolo unde procedeul magnetic este neaplicabil. În principiu, procedeul constă în aplicarea unui lichid penetrant, cît mai fluid și intens colorat, pe suprafața de studiat. Surplusul de lichid este, apoi, îndepărtat și lichidul rămas în fisuri, „revelat" cu o acoperire de contrast, indică prezența acestora.

Un procedeu interesant este utilizarea de lichide fluorescente, în care caz defectul poate fi pus în evidență în lumină neagră, produsă de becuri electrice cu filtre de oxid de nichel.

Defectoscopia nedistructivă ca mijloc de diagnosticare a calității materialelor și utilajelor. Proiectarea și realizarea utilajelor din industrie se bazează pe folosirea de materiale și îmbinări în care defectele fie lipsesc, fie sînt de dimensiuni sub cele considerate ca periculoase. Metodele de control defectoscopic, aplicate corespunzător cazului dat, sînt în măsură să verifice și să confirme absența defectelor neadmisibile [9, 10]. Problema capătă alte fațete în cazul controalelor efectuate pe utilajele care au funcționat în instalații o durată oarecare și la care se urmărește depistarea defectelor apărute sau dezvoltate ca urmare a factorilor de exploatare (tensiuni, temperaturi etc.). Deciziile care se pot lua, în aceste cazuri, sînt fie remedierea defectelor care au depășit mărimile admise, fie, în cazuri speciale, pe baza unui calcul ținînd seama de condițiile locale de solicitare, continuarea folosirii utilajului sub o supraveghere deosebită, pe o perioadă dată. Calculele care se pot efectua, în general, vizează fie prevenirea unor ruperi fragile, fie a creșterii periculoase a unor fisuri de oboseală.

3. Tensometrie

Numele de tensometrie se dă, în general, tuturor procedeelor care servesc la determinarea stării de deformație a unui corp. Ca aparataj, se utilizează *tensometre*, care măsoară o deformație pe cale electrică, meca-

Scanned with OKEN Scanner

nică (prin amplificare mecanică sau optică), acustică etc. [11]. Tensometria s-a dezvoltat deoarece metodele de calcul utilizate pentru stabilirea valorii și a repartiției tensiunilor mecanice într-o piesă nu sînt, în general, riguros exacte. Erorile se datoresc, în principal, ipotezelor simplificatoare utilizate. Există, de asemenea, cazuri în care lipsesc metodele adecvate de calcul. Atît pentru a determina erorile introduse de calcule, cît și pentru a rezolva problemele în care nu există metode de calcul, este necesară cunoașterea posibilităților de determinare experimentală a valorii și repartiției tensiunilor mecanice. De obicei, se poate măsura starea de deformare, nu cea de tensiuni mecanice.

Deformațiile locale sau globale se pot determina fie direct, măsurînd pe o cale oarecare deformația piesei respective *(tensometria)*, fie indirect, determinînd schimbarea proprietăților optice ale unui model sub o stare de tensiune *(fotoelasticitatea)* sau utilizînd proprietățile de rezistență ale unor materiale casante.

În ultima vreme, *tensometria electrică* a luat o dezvoltare foarte mare, ea constituind, în numeroase cazuri, metoda cea mai comodă de măsurare a deformațiilor, deci de aflare a mărimii tensiunilor mecanice în piese supuse la stări complexe de solicitare. În principiu, tensometrul constă dintr-un traductor al deformațiilor și un sistem amplificator. Traductorul este un dispozitiv care se fixează pe piesa de studiat și care, urmărind deformațiile piesei, își modifică una din proprietățile electrice. După cum mărimea care variază este rezistența ohmică, inductanța sau capacitatea, există traductori rezistivi, inductivi sau capacitivi, respectiv tensometre electrice purtînd aceleași denumiri.

Dintre toate tensometrele electrice, cele mai răspîndite sînt cele cu *traductori rezistivi*. Traductorul rezistiv sau marca tensometrică rezistivă are forma din fig. 18.9 sau alte variante ale acesteia. În principiu, traductorul este format din rezistența electrică, făcută dintr-un fir de constantan subțire lipit cu un clei pe o folie suport și avînd două fire de legătură. Rezistența electrică a traductorului uzual este de cel puțin 100 Ω. Traductorul respectiv se lipește, cu un adeziv special, pe piesa de studiat. După uscarea adezivului, care durează maximum cîteva ore, traductorul urmează deformațiile piesei pe care este lipit. Sub efectul acestor deformații, rezistența electrică R a firului suferă o variație ΔR, care se poate exprima prin ecuația:

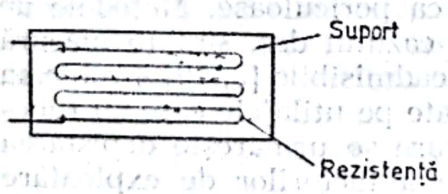


Fig. 18.9.

$$\frac{\Delta R}{R}=\frac{\Delta l}{l}(1+2\mu)+\frac{\Delta\rho}{\rho}=\varepsilon(1+2\mu)+\frac{\Delta\rho}{\rho}, \quad (2)$$

în care: l este lungimea pe care măsoară traductorul (baza traductorului); Δl — variația lungimii l; ε — lungirea specifică a piesei studiate, măsurată pe direcția traductorului rezistiv; μ — coeficientul de contracție transversală al materialului firului rezistent; ρ — rezistivitatea firului rezistent; $\Delta\rho$ — variația rezistivității, cauzată de alungirea Δl. Se definește constanta traductorului rezistiv prin raportul:

$$k=(\Delta R/R)\varepsilon=(1+2\mu)+(\Delta\rho/\rho)/\varepsilon. \quad (3)$$

Valoarea acesteia se determină pe cale experimentală. În acest fel, cunoscînd pe k și măsurînd variația de rezistență $\Delta R/R$, se poate afla lungirea specifică:

$$\varepsilon=(\Delta R/R)/k. \quad (4)$$

Scanned with OKEN Scanner

Măsurarea variației rezistenței electrice se face prin legarea traductorului rezistiv, printr-o punte Wheatstone, cu sistemul de amplificare electronic. Aceste aparate — numite *punți tensometrice* electronice — permit citirea sau/și înregistrarea directă a variației de lungire specifică, amplificate de pînă la 10^6 ori. Măsurarea cu un singur traductor este posibilă atunci cînd se cunosc direcțiile eforturilor unitare principale, traductorul lipindu-se pe direcția efortului unitar maxim. În cazul unei stări de solicitare complexe, este necesar să se determine direcțiile principale de deformații și mărimile lungirilor specifice principale. În acest scop, pe piesă se lipesc *rozete* de traductori rezistivi, formate din trei sau patru traductori, putînd avea diverse forme.

Prin tensometria electrică se pot măsura și deformații în condiții destul de dificile, pe suprafețe metalice încălzite, în interiorul unor rezervoare cu fluide, în masive de beton etc. Punînd în legătură puntea tensometrică cu un înregistrator adecvat, se pot înregistra variațiile deformațiilor la piese în mișcare, deci se poate studia spectrul tensiunilor mecanice în stare dinamică. Pe același principiu se construiesc *captori* care, cu ajutorul aceleiași punți tensometrice electronice, pot măsura diverse alte mărimi: variații de presiuni (indicatoare *p—v*), amplitudini de vibrații, accelerații, cupluri de răsucire, forțe etc.

Este important de reținut că, prin tensometrie se pot măsura numai *variațiile* deformațiilor cauzate de tensiuni mecanice din materialul utilajelor, rezultate sub acțiunea solicitărilor exterioare. Ca urmare, metoda nu este adecvată pentru determinarea mărimii absolute a tensiunilor mecanice. De asemenea, mărcile tensometrice, oricît de mici ar fi, nu pot pune în evidență vîrfurile locale de tensiuni (în zona concentratorilor, de exemplu), care pot avea o importanță majoră în amorsarea unor ruperi fragile, la temperaturi joase sau prin oboseală. [11] Din aceste motive, interpretarea rezultatelor unor măsurări tensometrice trebuie făcută cu toată prudența.

4. Fractografie

Obiectivele analizei fractografice. Fractografia este o tehnică experimentală folosită în analiza proceselor de rupere, atît pentru evaluarea unor caracteristici de *utilizare* ale materialelor, cît și ca mijloc de *diagnosticare* în analiza unor cazuri de cedări. Pornind de la particularitățile suprafețelor de rupere ale diferitelor metale și aliaje, fractografia este în măsură să furnizeze date utile pentru corelarea influențelor încărcării, materialului, factorilor geometrici și a mediului de lucru asupra procesului de rupere a unei piese sau componente de instalație. Pe această bază pot fi stabilite măsuri pentru evitarea repetării unor cazuri de rupere, la piese sau componente similare.

Deși tehnica analizei suprafețelor de rupere este cunoscută de mult timp, numai în ultimele patru decenii, o dată cu realizarea microscoapelor electronice, s-a înregistrat o dezvoltare importantă a mijloacelor și metodelor de investigare fractografică. În prezent, este general acceptat că suprafețele de rupere trebuie interpretate după observare la o gamă largă de măriri și, pe cît posibil, prin mijloace stereoscopice [12]. Lupa și microscopul optic sînt folosite, de regulă, la măriri pînă la X10, respectiv X100 Microscopul electronic de suprafață (scanning) permite examinări directe

Scanned with OKEN Scanner

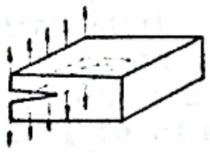
ale suprafețelor de rupere la măriri de ordinul X100 . . . X—10.000. Rezoluții superioare pot fi obținute prin examinarea de replici ale suprafețelor de rupere la microscopul electronic prin transmisie.

În ceea ce privește metodele de investigație, pe lîngă metodele de lucru folosite curent la aparatele menționate, s-au dezvoltat continuu metode noi, necesare pentru creșterea finetii și preciziei determinărilor, ca, de exemplu [13]: a) metoda examinării combinate a suprafeței de rupere și a profilului acesteia, supus în prealabil unui atac metalografic; b) metoda examinării simultane a suprafeței de rupere și a unei secțiuni adiacente, obținute prin șlefuire la un unghi obtuz față de suprafața de rupere; c) metoda examinării prin comparație a suprafeței de rupere și a unor secțiuni prin probe din același material, supuse în prealabil unor deformări plastice apropiate de deformarea la rupere.

În funcție de particularitățile fiecărui caz de rupere, principalele aspecte, care pot fi avute în vedere în analiza fractografică, privesc: caracterul macroscopic al procesului de rupere, locul de amorsare și direcțiile de propagare a frontului de rupere, natura și mecanismul de dezvoltare a proceselor prin care s-a generat amorsarea, respectiv, propagarea ruperii.

Utilizarea fractografiei ca mijloc de diagnosticare în analiza unor cazuri de cedări.

Caracterul macroscopic al procesului de rupere. Observarea, la scară macroscopică, a piesei rupte poate evidenția distorsiuni de la forma geometrică inițială, semnificative pentru aprecierea naturii încărcării care a determinat ruperea și a comportării la rupere a materialului. Observațiile pot fi completate prin aprecierea aspectului suprafețelor de rupere și măsurarea reducerii de grosime la marginea ruperii, comparativ cu grosimea piesei în afara zonei de rupere. Pe această bază, corespunzător caracteristicilor materialului, stării de tensiuni și condițiilor de mediu, ruperile pot fi împărțite, la scară macroscopică, în [14, 15]:

Tipul ruperii	Modul de propagare	Schema de solicitare*)
I	Deschidere	
II	Forfecare frontală	
III	Forfecare laterală	

*) În toate cazurile, propagarea ruperii se va face de la stînga la dreapta figurii

Fig. 18.10.

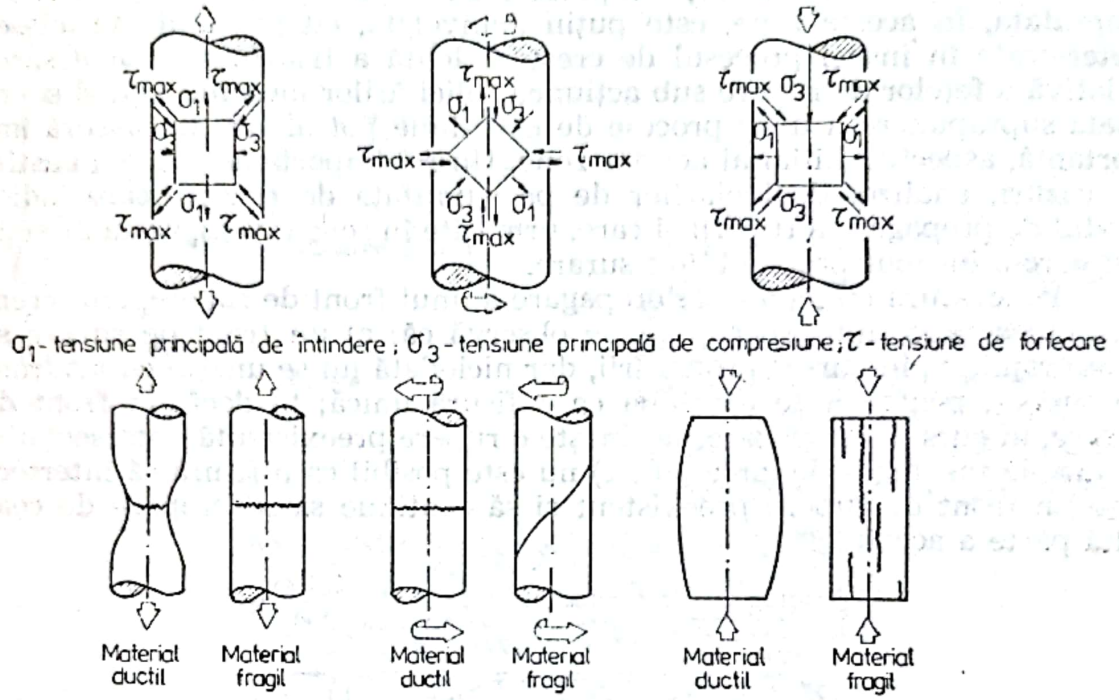
— ruperi de tip I, cu planul general de rupere perpendicular pe tensiunea principală maximă (fig. 18.10), întîlnite, de exemplu, în caz de rupere fragilă, rupere ductilă în condiții de stare plană de deformare (rupere ductilă în zona centrală a produselor de grosime mare), rupere prin oboseală sau rupere prin coroziune fisurantă sub tensiune;

— ruperi de tip II sau III, propagate în lungul unor planuri de tensiuni de forfecare maxime (fig. 18.10), întîlnite, de exemplu, în cazul ruperii ductile în condiții de stare plană de tensiuni (ruperi ductile în produsele de grosime mică sau în zonele din apropierea suprafeței la produsele de grosime mare).

În fig. 18.11 se indică, schematic, tipurile de ruperi arătate mai sus, în condițiile unor bare cilindrice supuse la solicitări simple de întindere,

Scanned with OKEN Scanner

torsiune sau compresiune. Astfel, solicitarea la întindere (fig. 18.11, *a*) determină, în cazul unui material fragil, *ruperea prin separare* (tip I), după un plan perpendicular pe direcția de aplicare a sarcinii, practic fără deformare plastică macroscopică (reducerea de grosime sub 2%). În cazul unui material ductil, tensiunile de forfecare determină o deformare importantă a materialului, care se accentuează într-o zonă de gîtuire, după



σ_1 - tensiune principală de întindere ; σ_3 - tensiune principală de compresiune ; τ - tensiune de forfecare

Fig. 18.11.

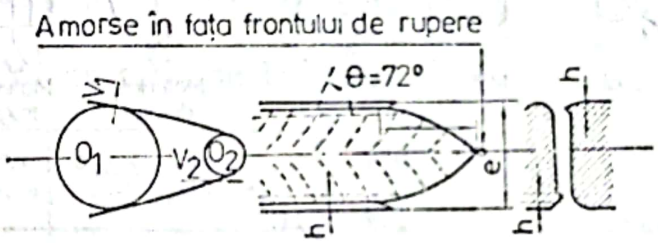
care, în zona centrală a secțiunii minime, sub acțiunea tensiunii de întindere maxime, se produce o fisurare perpendicular pe direcția de aplicare a sarcinii (tip I), urmată de propagarea ruperii în lungul unor suprafețe de forfecare de formă conică (tip II). Solicitarea la torsiune (fig. 18.11, *b*) determină, în cazul unui material fragil, ruperea după o suprafață de tip elice la 45°, față de axa barei, sub acțiunea tensiunilor de întindere maxime (tip I). În cazul unui material ductil, tensiunile de forfecare maxime determină o deformare importantă a materialului, urmată de rupere într-un plan normal la axa barei (tip III), amorsarea ruperii făcîndu-se, întotdeauna, în zona de solicitare maximă de la suprafața barei. Solicitarea la compresiune (fig. 18.11, *c*) determină ruperea unui material fragil după un plan perpendicular pe direcția tensiunilor de întindere maxime (tip I), adică în lungul generatoarei barei. Dimpotrivă, un material ductil se deformează sub acțiunea tensiunilor de forfecare și ia o formă de butoi, fără să se rupă sau rupîndu-se local, în zona de suprafață în care deformarea este maximă.

Locul de amorsare și direcțiile de propagare a frontului de rupere. Ruperile în serviciu rezultă într-o succesiune de faze cuprinzînd: amorsarea fisurii, propagarea subcritică a fisurii și propagarea rapidă prin suprasolicitare a secțiunii transversale rămase.

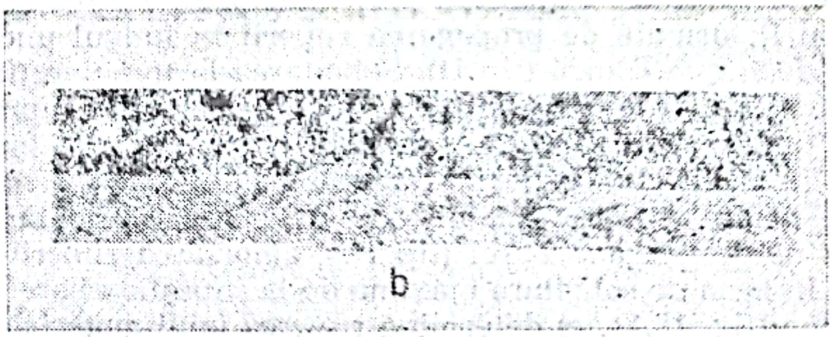
În cele mai multe cazuri, localizarea zonei de amorsare se face prin analiză la scară macroscopică a ansamblului piesei rupte și a fiecărei

suprafețe de rupere. Procesele de amorsare *rapidă*, proprii cazurilor de ruperi prin suprasolicitări unice sau prin sarcini de valori mari, repetate la număr mic de cicluri, se caracterizează prin zone de amorsare de dimensiuni relativ mici, de obicei cu aspect puțin diferit de cel al zonelor de propagare. Dimpotrivă, procesele de amorsare *lentă* sînt însoțite de formarea de zone de amorsare, respectiv de propagare subcritică a fisurii, de dimensiuni semnificative, comparativ cu mărimea secțiunii de rupere. Suprafața, în aceste zone, este puțin denivelată, cu proeminențe adesea deteriorate în însuși procesul de creștere lentă a fisurii. Atît deplasarea relativă a fețelor de rupere sub acțiunea solicitărilor mecanice, cît și eventuala suprapunere a unor procese de coroziune pot altera, în măsură importantă, aspectul inițial al acestor zone. Un rol important revine, în astfel de cazuri, analizei denivelărilor de pe suprafața de rupere, care indică modul de propagare a ruperii și care, urmărite în sens invers, arată direcția din care a început procesul de fisurare.

În legătură cu modul de propagare a unui front de rupere, indiferent de natura procesului de rupere, se observă că: a) un front de rupere se poate ramifica în cursul propagării, dar niciodată nu se unește cu alt front de rupere, pentru a se continua ca o fisură unică; b) dacă un front de rupere, în curs de propagare, întîlnește o rupere preexistentă, intersectarea se face la un unghi de circa 90°; c) nu este posibil ca o fisură să intersecteze un front de rupere preexistent și să continue să se propage de cealaltă parte a acestuia.



a



b

Fig. 18.12.

Direcția de propagare a ruperii poate fi, în cele mai multe cazuri, identificată după geometria denivelărilor suprafețelor rezultate în procesul de propagare a frontului de rupere. Astfel:

• În cazul unei *ruperi fragile*, ca urmare a caracterului discontinuu al procesului de propagare [16], pe suprafața de rupere se formează denivelări în formă de arce (fig. 18.12). Direcția de concurență a acestor arce este opusă direcției de propagare a ruperii.

• În cazul unei *ruperi prin oboseală*, denivelările au forma unor arce concentrice, din ce în ce mai îndepărtate de zona de amorsare.

Scanned with OKEN Scanner

Orientarea acestor arce pe suprafețele de rupere este diferită la piese cilindrice, netede sau cu concentratori inelari, aflate în diferite condiții de încărcare.

• În cazul unei *ruperi ductile*, suprafața de rupere este puternic denivelată, ca urmare a unui proces de formare și creștere de cavități în întreaga masă a materialului (fig. 18.13). Amorsarea unei astfel de ruperi

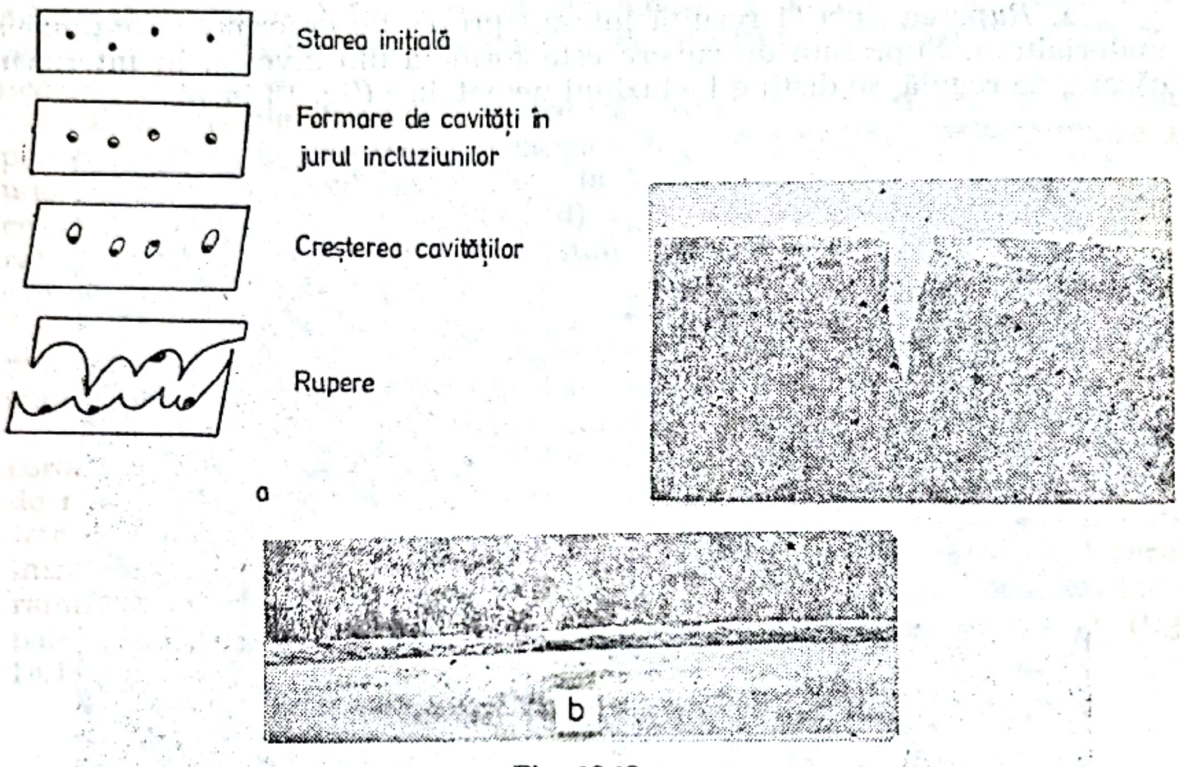


Fig. 18.13.

poate avea loc fie de la o fisură care a atins dimensiunea critică printr-un alt proces de rupere, fie din zona în care deformarea piesei a fost maximă, respectiv, s-a înregistrat cea mai pronunțată reducere de grosime. Deformarea de ansamblu a piesei, în cursul procesului de rupere, este strîns legată de rezerva de energie din sistemul în care lucrează piesa.

Moduri de rupere ale metalelor de largă utilizare industrială. Cauza de bază, în oricare rupere, sînt tensiunile mecanice, care depășesc — local — capacitatea de rezistență a piesei.

Nivelul tensiunilor mecanice este determinat de încărcările mecanice exterioare, gradienții termici și tensiunile interne generate prin procese de deformare plastică, sudare, tratament termic și termochimic, acoperiri metalice etc. Distribuția tensiunilor, în secțiunea piesei, depinde de felul încărcării exterioare (încovoiere, torsiune etc.), și de factorii geometrici, între care un rol important îl au concentratorii de tensiune la scara întregii piese (variații de secțiune, raze de racordare, găuri etc.) sau cu caracter local (defecte de material, imprimări, zgîrieturi etc.). Solicitări mecanice excesive pot rezulta și prin interacțiuni între factorii de încărcare și cei geometrici (vibrații, pierderea de stabilitate etc.).

Nivelul capacității de rezistență a materialului este influențat de factori externi ca: natura încărcării (statică, prin șoc, sarcini repetate), temperatură, mediu de lucru, ca și de factorii proprii de material ca: defecte locale (incluziuni, pori, fisuri, suprapuneri etc.) sau de stări structurale defavorabile (constituenți fragili, îmbătrînire, decarburare etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Fără a putea pătrunde în complexitatea fenomenelor care controlează procesele de rupere, în diferite condiții de solicitare, în cele ce urmează se vor prezenta, succint, particularități fractografice ale principalelor moduri de rupere ale metalelor și aliajelor de largă utilizare industrială [12, 13]. Accentul va fi pus pe particularitățile la scară microscopică, care prezintă interes în analiza zonelor de amorsare și creștere subcritică a ruperii.

a. *Ruperea ductilă* rezultă într-un proces de deformare continuă a materialului. Suprafața de rupere este formată din alveole, în interiorul cărora, de regulă, se disting incluziuni nemetalice (fig. 18.14, *a*).

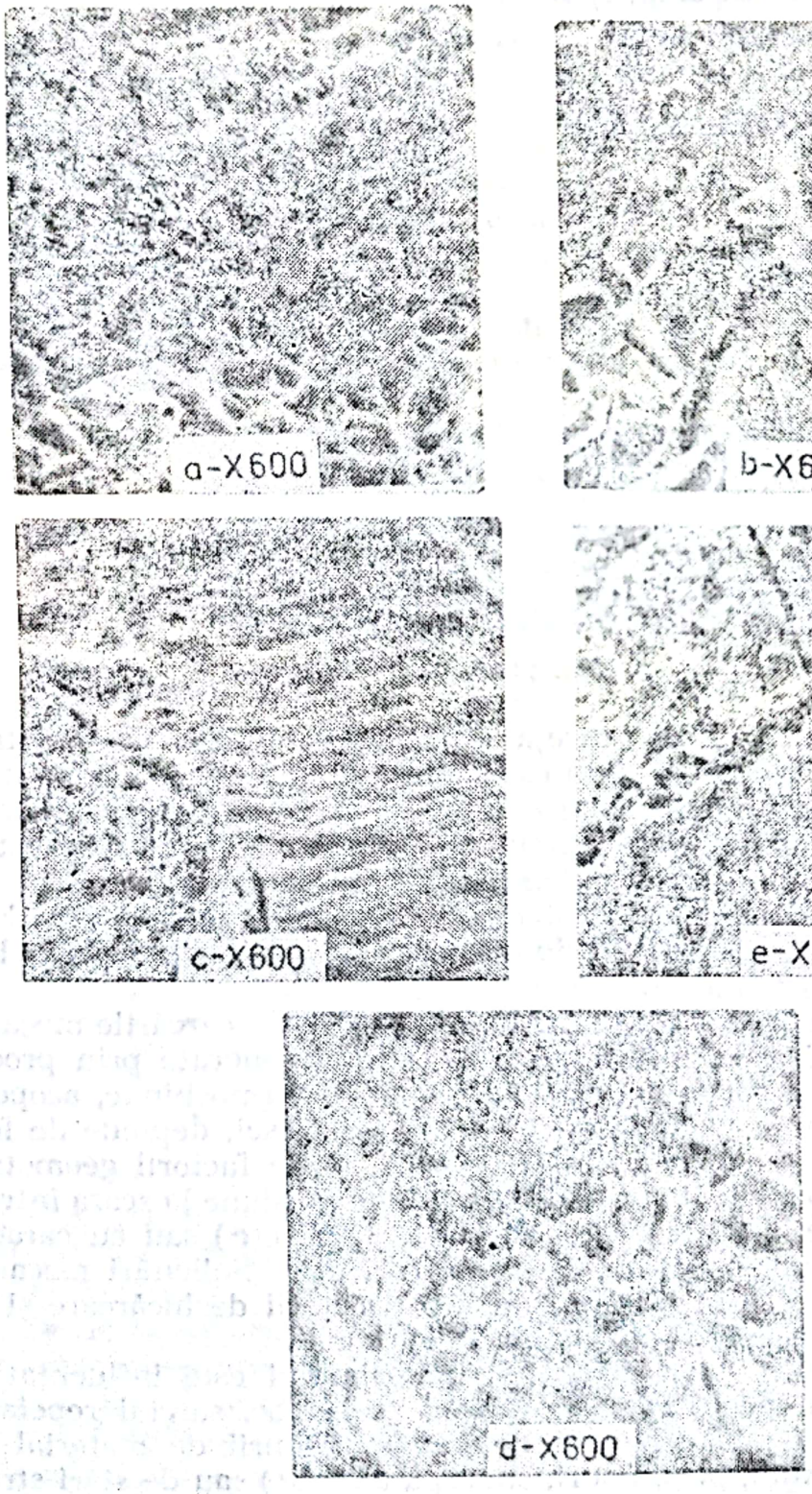


Fig. 18.14.

Scanned with OKEN Scanner

b. *Ruperea fragilă* rezultă dintr-un proces discontinuu de rupere prin clivaj a grăunților cristalini. Fațetele de clivaj, relativ plane, prezintă ușoare denivelări sub formă de striuri și nervuri (fig. 18.14, *b*).

c. *Ruperea prin oboseală* rezultă prin creșterea în trepte a uneia sau mai multor fisuri. Caracterul ciclic al încărcării se reflectă în formarea de striuri de suprafața de rupere (fig. 18.14, *c*).

d. *Ruperea prin separare intergranulară* rezultă atunci cînd există o diferență importantă între rezistența mecanică a grăuntelui cristalin și cea a limitei acestuia sau în condițiile de mediu care favorizează coroziunea intercristalină.

Diferența de rezistență mecanică între grăunte și limita acestuia poate rezulta prin procese de segregare sau prin procese de precipitare a unor compuși. Ruperile prin fluaj la temperaturi ridicate sînt adesea complet intergranulare (fig. 18.14, *d*), deși aspectul acestora poate fi alterat prin deformarea grăunților cristalini în cursul procesului de rupere, sau prin oxidare după rupere.

În anumite oțeluri și aliaje, în special în condițiile unor tensiuni mecanice moderate, ruperile care rezultă prin coroziune fisurantă sub tensiune sau fragilizare prin hidrogen au caracter intergranular.

e. *Ruperi prin procese de coroziune* pot fi generate prin procese de coroziune fisurantă sub tensiune sau coroziune—oboseală. Aceste moduri de rupere, deși se produc prin mecanisme diferite, pot conduce la suprafețe de rupere cu aspect similar, din cauza cărora pot să fie confundate între ele, sau cu ruperea prin oboseală propriu-zisă. De obicei, caracterul ramificat al fronturilor și prezența compușilor de coroziune sînt principalele indicii fractografice în ruperile prin procese de coroziune (fig. 18.14, *e*).

5. Încercări de presiune

Obiectivele încercărilor de presiune. Încercările de presiune reprezintă un mijloc nedistructiv de verificare tehnică a componentelor instalațiilor sub presiune (recipiente, cazane, conducte, țevi etc.). Pe de o parte, prezintă interes în evidențierea unor discontinuități geometrice locale, în măsură să compromită etanșeitatea unei instalații, iar pe de altă parte, permit verificarea rezistenței mecanice a componentelor acesteia în condiții de solicitare similare ca natură, dar mai severe ca valoare decît cele care sînt de așteptat să apară în exploatare.

Efectuarea, în cursul încercării de presiune, a unor verificări complementare, prin tensometrie (v. § 18.3) sau prin controlul emisiei acustice (v. § 18.7), permite identificarea zonelor celor mai solicitate ale instalației și aprecierea comportamentului sub sarcină a materialului în zonele respective.

Încercarea de etanșeitate. Această încercare se poate realiza în diferite faze ale procesului tehnologic de execuție a componentelor unei instalații sub presiune, în scopul depistării și remanierii unor defecte locale de material sau de execuție (de exemplu pori sau microfisuri în piese turnate, îmbinări sudate etc.), precum și după terminarea întregii instalații sub presiune, în scopul verificării de ansamblu a etanșeității tuturor îmbinărilor. De regulă, valoarea presiunii de încercare nu depășește valoarea presiunii maxime *admise* în utilizarea instalației.

Scanned with OKEN Scanner

În cele mai multe cazuri, eficiența depistării defectelor, prin intermediul acestui control, este asigurată cu ajutorul unor metode de verificare simple, constînd din presurizarea componentei cu aer sau un alt gaz neutru, după care, în funcție de particularitățile acesteia, se procedează la: acoperirea zonelor supuse controlului cu o soluție de apă cu săpun sau cu un alt lichid spumant; cufundarea într-un bazin cu apă; întreruperea legăturii dintre componentă și sursa de presiune și verificarea variației în timp a presiunii din componentă etc.

Sînt situații în care sensibilitatea acestui control trebuie să fie foarte mare, astfel încît să existe certitudinea că nu sînt posibile scăpări de agent, nici chiar în cantități mici, între o parte și alta a unei componente de instalație sau între instalație și mediul înconjurător.

În astfel de cazuri metodele de încercare trebuie analizate cu atenție, putîndu-se recurge, de exemplu, la *încercarea cu amoniac*, bazată pe reacția chimică ce se produce între un amestec gazos aer-amoniac și o soluție de azotat de mercur aplicată pe suprafața elementului controlat, sau la *încercarea cu freon, heliu sau alte gaze*, în care se utilizează detectori cu halogen sau spectrometre de masă în măsură să evidențieze scăpări de agent la nivelul unor concentrații de 1‰ [10, 17].

Încercarea la presiune hidraulică sau pneumatică. Încercarea se încadrează în grupa operațiilor de verificare finală a componentelor unei instalații sub presiune. Comportarea sub sarcină, în timpul probei hidraulice a unui element de instalație, se apreciază sub aspectul neapariției unor deformări plastice vizibile, fisuri sau crăpături ale pereților și nici a unor pierderi de lichid (picături sau scurgeri).

În legătură cu condițiile de temperatură și presiune la încercarea de presiune hidrostatică, se observă următoarele:

- Temperatura de încercare se poate situa în întreg domeniul cuprins între temperatura de lucru minimă admisă, pentru elementul de instalație încercat și +50°C. Domeniul avantajos, din punctul de vedere al capacității de deformare plastică a materialului, recomandat a se asigura la încercare, este, însă, numai cel al temperaturilor pozitive, pe cît posibil peste +15°C.
- Presiunea de încercare depășește presiunea de lucru maximă a componentei de instalație, valoarea sa stabilindu-se în funcție de caracteristicile materialului la temperatura de +20°C, respectiv, la temperatura de lucru maximă avută în vedere la proiectare [18]. În ultimii ani, s-a evidențiat că, în cazul structurilor portante, aplicarea la proba de rezistență a unor supraîncărcări adecvate are efect favorabil asupra capacității de încărcare ulterioare a acestor structuri [19, 20].

Din cauza incertitudinii privind starea de tensiune efectivă care rezultă în pereții unei componente de instalație după încercarea la suprapresiune, avantajele unei astfel de încercări nu pot fi valorificate direct, de exemplu prin acceptarea unui coeficient de siguranță mai scăzut. Aspectul semnalat constituie, însă, un argument calitativ pentru promovarea încercării la presiune hidraulică sau la presiune pneumatică în toate cazurile în care acestea pot fi efectuate.

6. Metode și mijloace specifice mecanicii ruperii

Bazele aplicării metodelor mecanicii ruperii. Mecanica ruperii reprezintă un instrument ingineresc modern de analiză a factorilor de care depinde fiabilitatea unei piese sau componente de instalație. Aplicarea

Scanned with OKEN Scanner

practică a metodelor mecanicii ruperii este condiționată de acumularea, în momentul analizei, a informațiilor necesare în ceea ce privește: starea de solicitare, caracteristicile de material, dimensiunea, forma și poziția defectelor existente în piesă sau componenta de instalație.

a. *Starea de solicitare* este analizată în zonele critice din apropierea vîrfului defectelor. Criteriile de exprimare a stării de solicitare sînt adecvate particularităților cîmpului de tensiuni și deformații, dezvoltat în zonele respective.

Astfel, cîmpul de tensiuni linear-elastice din zona vîrfului unei fisuri poate fi descris, prin factorul de intensitate a tensiunii K, calculat cu formula:

$$K=f\sigma a^{1/2}, \tag{5}$$

în care f este un factor dependent de geometria corpului care conține fisura și de modul de încărcare a acestuia, σ este tensiunea nominală, iar a — lungimea de defect. Expresiile factorului f au fost determinate pentru o mare varietate de configurații geometrice și moduri de încărcare întîlnite în practică. În cazuri critice sau în geometrii neuzuale ale corpului fisurat, expresiile respective pot fi stabilite pe cale analitică sau experimentală [14, 15].

În cazul unei comportări elasto-plastice a materialului la vîrful fisurii, starea de solicitare poate fi exprimată, de exemplu, cu ajutorul deplasării de deschidere a fisurii sau a energiei de contur J [14, 15, 21].

Valoarea tensiunii nominale se determină prin metodele convenționale de analiză, aplicabile atunci cînd defectul are dimensiuni neglijabile comparativ cu secțiunea de rupere, sau printr-o analiză specială, atunci cînd defectele au dimensiuni mari care pot modifica semnificativ valoarea tensiunii nominale [22]. Calculul trebuie să aibă în vedere efectul combinat al încărcării exterioare, gradienților termici și tensiunilor reziduale. În cazul solicitărilor ciclice, este necesară o analiză a spectrului de solicitare, rezultat din încărcările mecanice, termice etc. [23].

b. *Caracteristica de material* corespunde nivelului maxim de încărcare, de care este capabil un material în starea de solicitare critică, corespunzătoare amorsării sau propagării ruperii.

Pentru o încărcare linear-elastică în condițiile stării plane de deformare, caracteristica de material este dată de valoarea critică a factorului de intensitate a tensiunii, numită tenacitate la rupere, corespunzătoare amorsării statice (K_{Ic}), amorsării dinamice (K_{Id}), amorsării în condiții de coroziune fisurantă sub tensiune (K_{Icft}), respectiv, opririi ruperii (K_{Ia}) [14, 15, 21].

Pentru o încărcare continuu crescătoare, în condițiile unei deformări elasto-plastice a materialului, caracteristica de material este dată de valoarea critică a energiei de contur (J_c), de valoarea critică a deplasării de deschidere a fisurii (δ_c) sau de curba de variație a rezistenței la creșterea fisurii (R) cu lungimea de fisură a.

Cînd sarcina are o variație ciclică, trebuie cunoscută legea de variație a creșterii fisurii pe ciclu de solicitare (da/dn) în funcție de amplitudinea factorului de intensitate a tensiunii ΔK sau, pentru solicitări la număr foarte mare de cicluri ($10^8 \ldots 10^{12}$ cicluri), valoarea pragului de intensitate a tensiunii, corespunzător nepropagării ruperii $-\Delta K_p$. Principalele caracteristici de material, folosite în analiza proceselor de rupere, sînt sintetizate în tabelul 18.2.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 18.2. **Caracteristici de material folosite în analiza proceselor de rupere**

Procesul de rupere	Starea de solicitare	Caracteristici de material	Semnificația caracteristicii
Rupere sub sarcină crescătoare aplicată static sau dinamic.	Stare plană de deformare	K_{Ic} (static) K_{Id} (dinamic)	Valoare critică a factorului de intensitate a tensiunii K_I (la care intervine creșterea instabilă a fisurii)
	Stare plană a tensiunii	J_{1c}	Valoare critică a energiei de contur J
		δ_c	Valoare critică a deschiderii fisurii δ
		Curba $R - a$	Variația rezistenței la creșterea fisurii R cu lungimea fisurii a
Rupere sub sarcină ciclică (fluaj).	Stare plană de deformare	$da/dn - \Delta K_I$	Viteza de creștere a fisurii da/dn și amplitudinea solicitării ΔK_I
		ΔK_{Ip}	Pragul de nepropagare a fisurii de oboseală
Rupere sub sarcină constantă în condiții de coroziune fisurantă sub tensiune.	Stare plană de deformare	$da/d\tau - K_I$	Viteza de creștere a fisurii în anumite condiții de mediu $da/d\tau$ cu nivelul solicitării K_I
		$K_{Ic/t}$	Pragul de nepropagare a fisurii în anumite condiții de mediu
Rupere prin fluaj	Stare plană de tensiune	$da/d\tau - K$	Viteza de creștere a fisurii $da/d\tau$ cu nivelul solicitării
		$da/d\tau - \delta$	

c. *Dimensiunea, forma și poziția defectului* influențează direct capacitatea portantă a piesei sau componentei de instalație. Pentru ilustrare, în fig. 18.15 sînt reprezentate defecte cu diferite forme și poziții în secțiunea unei piese, dar care sînt echivalente ca dimensiune, în

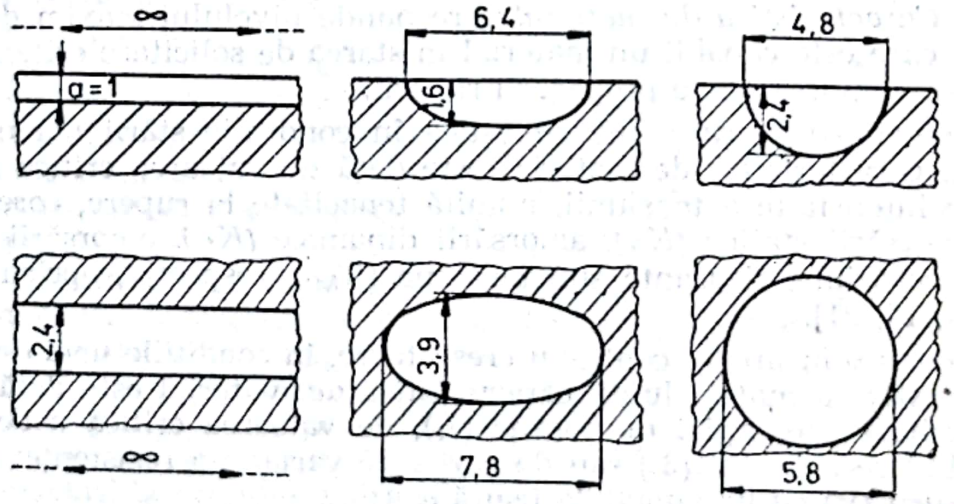


Fig. 18.15.

sensul că reprezintă defecte critice în condițiile aceleiași valori a tensiunii maxime și a tenacității la rupere a materialului [10]). Se observă că, față de un defect de referință, de tipul defectului de suprafață infinit lung și cu adîncime critică unitară ($a=1$), defectele de lungime finită, respectiv, plasate către interiorul corpului, au dimensiune critică în creștere, va-

Scanned with OKEN Scanner

loarea maximă întîlnindu-se la defectul interior de formă circulară cu diametrul critic egal cu 5,8×adîncimea defectului de referință.

Un factor important este și distribuția defectelor. Prezintă interes mai ales cazurile în care pot interveni interacțiuni între defecte, ca urmare a distanței mici între acestea. Astfel de situații se întîlnesc, de exemplu, în aglomerările de incluziuni nemetalice din produsele turnate, laminate sau forjate, în aglomerările de pori în suduri sau în zonele intens fisurate ca urmare a unor procese de sudare, de coroziune fisurantă sub tensiune etc. Atunci cînd, prin mijloacele de control nedistructiv, nu este posibilă evaluarea individuală a defectelor, documentele normative recomandă tratarea globală a acestora, sub forma unui defect unic al cărui contur este dat de proiecția aglomerării de defecte pe un plan perpendicular pe direcția tensiunii principale maxime [22, 24].

Analiza pieselor sau componentelor unor instalații cu ajutorul metodelor mecanicii ruperii. Metodele mecanicii ruperii pot fi folosite pentru atingerea a două obiective principale și anume: obținerea unei anumite siguranțe față de rupere, respectiv, analiza siguranței față de rupere existentă într-o situație dată.

Astfel, în faza de proiectare și de alegere a calității materialului unei piese sau componente de instalație, atît factorii de material și de solicitare, cît și sensibilitatea metodelor de control nedistructiv pot fi cunoscute cu suficientă precizie. Ca urmare, în astfel de situații, este rațional de adoptat un concept de prevenire a ruperii, corespunzător căruia componenta trebuie să dispună de un coeficient de siguranță cunoscut, exprimat în termenii valorii maxime admise pentru nivelul de tensiuni, numărul de cicluri de solicitare sau dimensiunea de defect. Etapele de lucru sînt următoarele: • se alege expresia factorului K, care modelează cel mai bine geometria defectului și condițiile de încărcare; • se determină dimensiunea critică de defect, care corespunde tenacității la rupere K_{Ic}; • în funcție de coeficientul de siguranță stabilit, se determină valorile care pot fi admise — inițial — pentru factorul K, respectiv, pentru dimensiunea defectului.

Referitor la dimensiunea de defect *admisă* la începutul vieții piesei sau componentei, evident, aceasta va trebui să depășească dimensiunea minimă de defect care poate fi depistată prin control nedistructiv

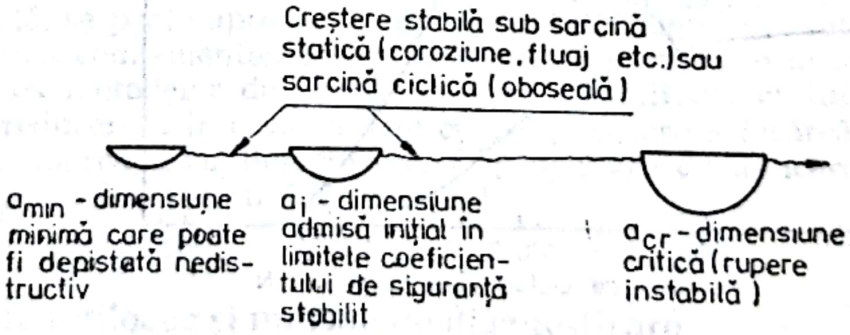


Fig. 18.16.

(fig. 18.16). În același timp, dimensiunea respectivă trebuie să fie suficient de mică, pentru a exista certitudinea că, pe parcursul duratei de viață a piesei sau componentei, nici un defect nu atinge dimensiunea critică. În acest scop, avînd în vedere acele condiții de lucru, care pot genera fenomene evolutive (oboseală, coroziune fisurantă sub tensiune, hidrogen,

Scanned with OKEN Scanner

fluaj etc.), dimensiunea defectului inițial va putea fi corelată cu dimensiunile de defect corespunzătoare pragului de nepropagare sau cele asociate vitezelor mici de propagare a proceselor respective.

În cele ce urmează, se prezintă un exemplu de determinare a dimensiunii inițiale de defect, în cazul unei componente din oțel de tip OCS 55 care lucrează în condiții de solicitări ciclice cu tensiuni maxime superioare pragului de nepropagare a fisurilor de oboseală [10, 25]. Caracteristicile de material — tenacitate la rupere K_{Ic} și viteză de propagare a fisurii de oboseală — se indică în fig. 18.17. Defectul prezent în componentă se consideră a fi un defect de suprafață, cu factor de formă $a/l=0{,}1$, orientat perpendicular pe direcția tensiunii principale maxime. Încărcarea componentei se face în ciclu pulsant, cu amplitudinea de 185 N/mm². Considerînd diferite dimensiuni inițiale de defect, s-a calculat numărul de cicluri de solicitare pînă la rupere (fig. 18.17, curba *a*). Calculul s-a repetat pentru o amplitudine majorată a încărcării de $1{,}5 \cdot 185$ N/mm² = 275 N/mm², corespunzătoare unui coeficient de siguranță de 1,5 în raport cu tensiunea maximă (fig. 18.17, curba *b*). Pe curba *b*, astfel trasată, se poate determina — cu coeficientul de siguranță dorit — dimensiunea inițială de defect care corespunde numărului total de cicluri de încărcare pentru care se face verificarea componentei. Dacă, dimpotrivă, este cunoscută dimensiunea inițială de defect, folosind cele două curbe din fig. 18.17, se determină numărul corespunzător de cicluri de solicitare pînă la rupere. Valorile astfel găsite se raportează la numărul total de cicluri de solicitare, pentru care se face verificarea componentei și indică, pentru condițiile de încărcare respective, coeficienții de siguranță în raport cu ciclurile de solicitare. Alte exemple de aplicare a metodei descrise se dau în lucrările [10, 23].

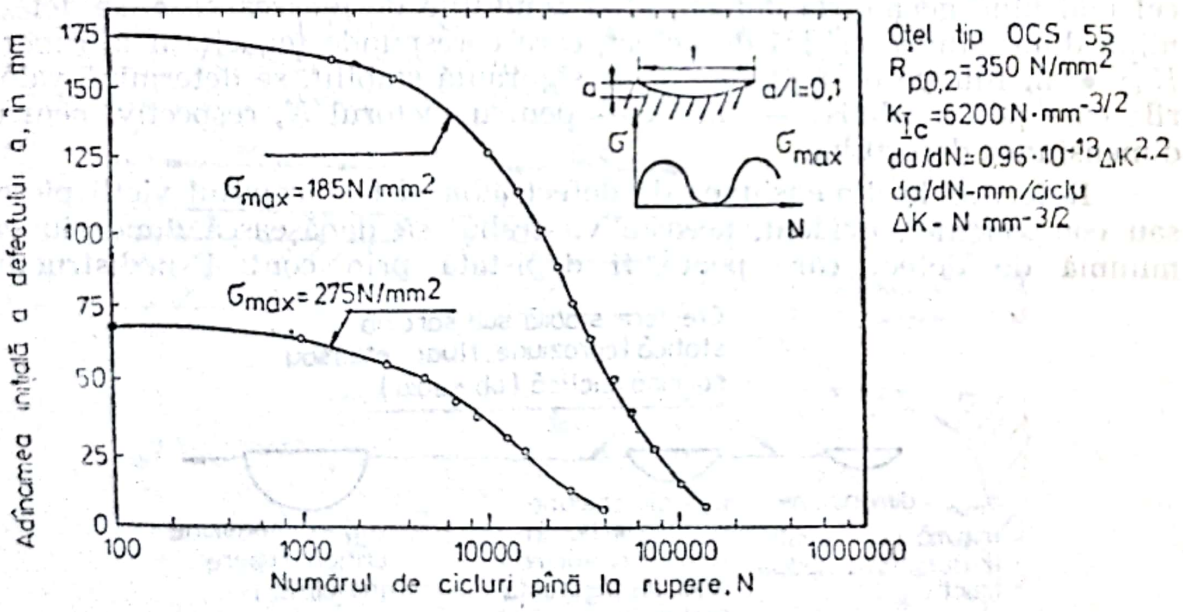


Fig. 18.17.

O altă categorie de situații este aceea a unor componente, aflate în serviciu, la care se descoperă sau se suspectează existența unor defecte. În astfel de situații, pentru aprecierea siguranței față de rupere, pe care o prezintă o anumită componentă, se procedează astfel (fig. 18.18): • folosind diferite metode de control, se determină sau se estimează dimensiunea defectelor existente; • se determină creșterea de defect, care poate

Scanned with OKEN Scanner

interveni în perioada de exploatare rămasă, obținîndu-se dimensiunea de defect la sfîrșitul duratei de viață utile; • se face comparația cu defectul critic și se stabilește coeficientul de siguranță, față de rupere, al componentei analizate. De exemplu, în cazul unor componente supuse acțiunii unor încărcări variabile, cu spectrul de solicitare larg, calculul creșterii de defect se face pe cicluri de încărcări, grupate pe amplitudini. Astfel, creșterile de defect, asociate fiecărui ciclu de solicitare, sînt adăugate la

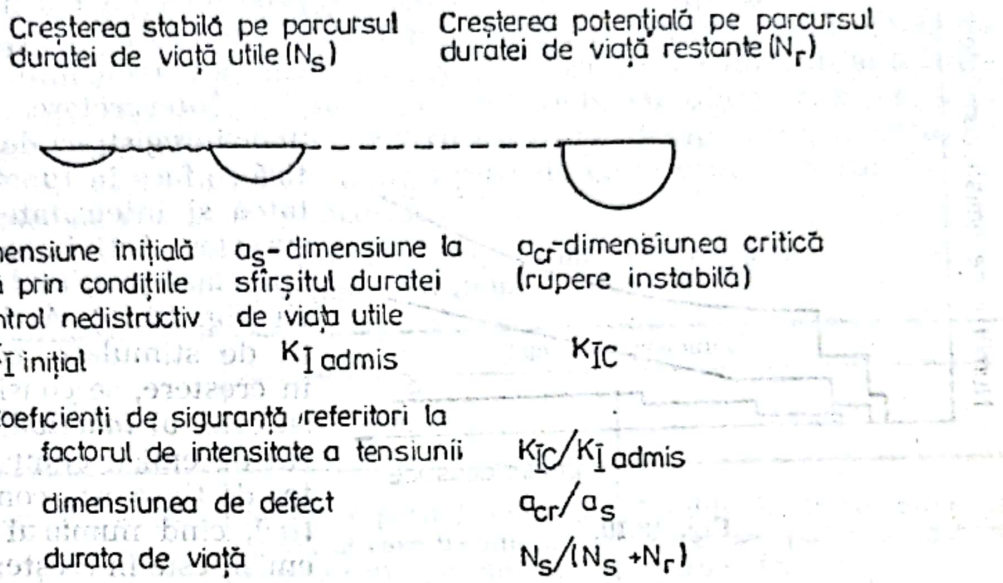


Fig. 18.18.

dimensiunea anterioară de defect, cu luarea în considerație — continuu — a variației amplitudinii factorului de intensitate a tensiunii cu lungimea de defect [10, 25].

Un alt exemplu este cel a componentelor la care dimensiunea defectului critic trebuie estimată prin procedee aproximative, ca urmare a faptului că nu se dispune de date sau nu sînt îndeplinite condițiile pentru determinarea tenacității la rupere K_{Ic} a materialului componentei. Dacă valoarea estimată a defectului critic este semnificativ mai mare decît dimensiunea de defect care este de așteptat să existe la sfîrșitul duratei utile de viață, se poate aprecia că se dispune de o siguranță satisfăcătoare în exploatarea componentei. În caz contrar, sînt necesare măsuri pentru îmbunătățirea metodelor de estimare a dimensiunii defectului critic sau măsuri de reducere a intervalelor de control, scădere a încărcării componentei, remanierea unor defecte etc. O propunere de aplicare a acestei metode de analiză se face în lucrarea [22].

7. Alte mijloace și metode de diagnosticare

Analiza emisiei acustice. Emisia acustică este o undă elastică generată prin eliberarea rapidă a energiei dintr-o sursă localizată, existentă într-un material. Tehnica analizării semnalelor acustice, emise de piese sau componente de instalații, ca urmare a acțiunii unui factor stimulator (de exemplu, încărcarea mecanică) reprezintă o metodă relativ nouă, complementară metodelor de examinare nedistructivă cunoscute (v. § 2). Aplica-

Scanned with OKEN Scanner

ţiile emisiei acustice sînt variate, referindu-se, de exemplu, la analiza proceselor de deformare plastică sau a proceselor de fisurare de diferite naturi. În practica industrială, emisia acustică este utilizată la examinarea comportării, în cursul probelor de rezistenţă, a recipientelor sub presiune, a structurii aparatelor de zbor, navelor, materialului rulant etc. Experienţa, acumulată în domeniul aplicării practice a emisiei acustice, a permis elaborarea unor documente normative referitoare la terminologie, proceduri de măsurare, tehnici de calibrare şi nivel de calificare a personalului [10].

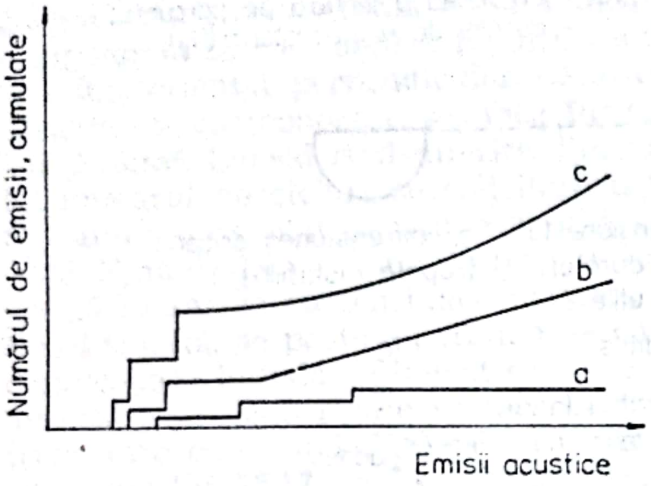


Fig. 18.19.

Interpretarea rezultatelor unor înregistrări de emisie acustică se face în funcţie de activitatea şi intensitatea acustică a surselor. Activitatea acustică se apreciază prin numărul de emisii (fig. 18.19). Astfel, în condiţii de stimulare constantă sau în creştere, se consideră că sursa este: a) *inactivă*, cînd numărul de emisii cumulat în unitatea de timp este constant; b) *activă*, cînd numărul cumulat de emisii este în creştere constantă; c) *activă critic*, cînd viteza de creştere a numărului cumulat de emisii este în creştere. Măsura intensităţii unei surse rezultă prin comparaţie cu intensitatea medie a semnalelor emise de toate sursele prezente în componenta analizată (fig. 18.20). Astfel, o sursă este considerată a fi intensă, dacă este activă iar intensitatea sa depăşeşte, continuu, intensitatea medie a surselor active. O sursă intensă se consideră intensă critic, dacă intensitatea sa creşte continuu în condiţii de stimulare în creştere sau creşte cu

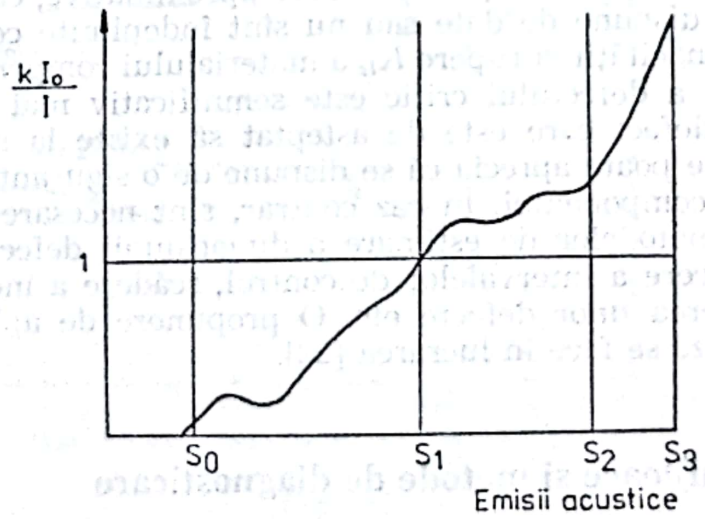


Fig. 18.20.

timpul în condiţii de stimulare constantă. Suplimentar faţă de activitate şi intensitate, este luată în consideraţie şi dimensiunea zonei în care este localizată sursa.

Pentru identificarea şi interpretarea semnalelor acustice, emise în procesele active mecanic, termic sau chimic, prezintă interes şi analiza

Scanned with OKEN Scanner

ţiile emisiei acustice sînt variate, referindu-se, de exemplu, la analiza proceselor de deformare plastică sau a proceselor de fisurare de diferite naturi. În practica industrială, emisia acustică este utilizată la examinarea comportării, în cursul probelor de rezistenţă, a recipientelor sub presiune, a structurii aparatelor de zbor, navelor, materialului rulant etc. Experienţa, acumulată în domeniul aplicării practice a emisiei acustice, a permis elaborarea unor documente normative referitoare la terminologie, proceduri de măsurare, tehnici de calibrare şi nivel de calificare a personalului [10].

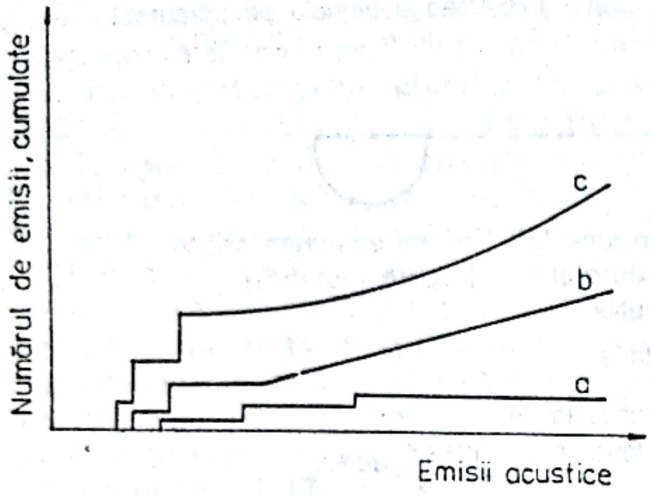


Fig. 18.19.

Interpretarea rezultatelor unor înregistrări de emisie acustică se face în funcţie de activitatea şi intensitatea acustică a surselor. Activitatea acustică se apreciază prin numărul de emisii (fig. 18.19). Astfel, în condiţii de stimulare constantă sau în creştere, se consideră că sursa este: a) *inactivă*, cînd numărul de emisii cumulat în unitatea de timp este constant; b) *activă*, cînd numărul cumulat de emisii este în creştere constantă; c) *activă critic*, cînd viteza de creştere a numărului cumulat de emisii este în creştere. Măsura intensităţii unei surse rezultă prin comparaţie cu intensitatea medie a semnalelor emise de toate sursele prezente în componenta analizată (fig. 18.20). Astfel, o sursă este considerată a fi intensă, dacă este activă iar intensitatea sa depăşeşte, continuu, intensitatea medie a surselor active. O sursă intensă se consideră intensă critic, dacă intensitatea sa creşte continuu în condiţii de stimulare în creştere sau creşte cu

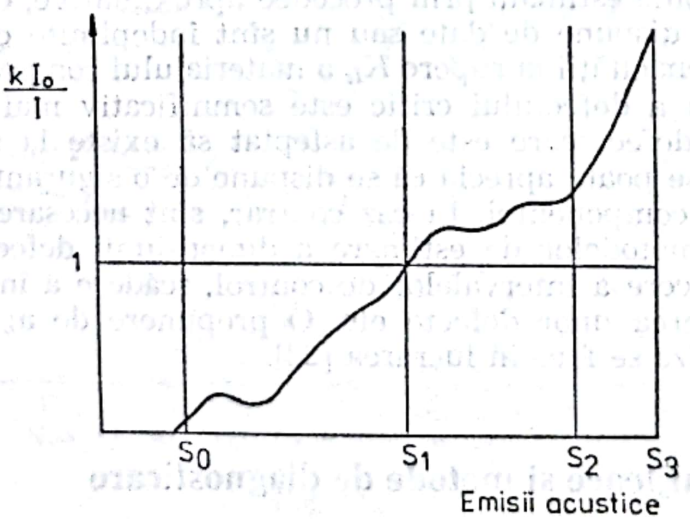


Fig. 18.20.

timpul în condiţii de stimulare constantă. Suplimentar faţă de activitate şi intensitate, este luată în consideraţie şi dimensiunea zonei în care este localizată sursa.

Pentru identificarea şi interpretarea semnalelor acustice, emise în procesele active mecanic, termic sau chimic, prezintă interes şi analiza

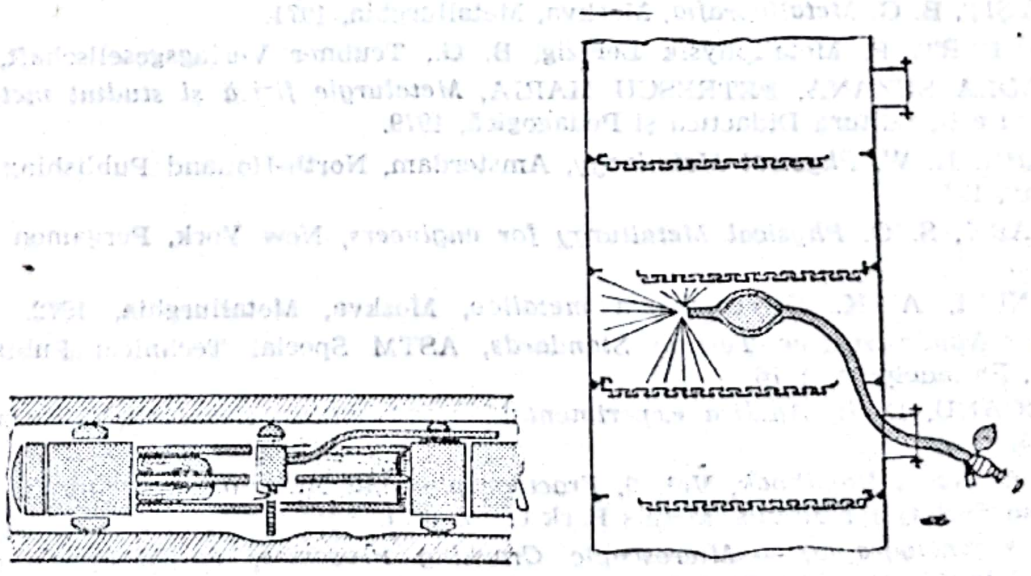
Scanned with OKEN Scanner

spectrelor de frecvență ale emisiilor respective. Activitățile în acest domeniu sînt în plină dezvoltare [10].

Examinarea endoscopică. Examinarea endoscopică reprezintă un mijloc de examinare vizuală cu ajutorul unor aparate optice filiforme, care au acces în spațiile interioare ale pieselor sau componentelor unei instalații. Endoscopul se compune din părțile optice, cu funcție de obiectiv, sistem de transmitere a imaginii și ocular, precum și din partea de iluminare a zonei observate. Constructiv, endoscoapele pot fi de tip rigid, adică realizate prin asamblare de tronsoane tubulare cu lungimi, de regulă, de pînă la 4 m, sau de tip flexibil; caz în care transmiterea luminii și a imaginii se face prin conductori din fibre de sticlă cu diametrul secțiunii active de circa 5 mm. În tabelul 18.3 se prezintă, comparativ, avantajele pe care le oferă fiecare din cele două tipuri de endoscoape, în funcție de domeniile tipice de utilizare ale acestora.

Tabelul 18.3 **Caracteristici de utilizare ale endoscoapelor rigide și flexibile**

Caracteristici	Tipul endoscopului	
	Rigid	Flexibil
Accesul în interiorul componentei	Nu este posibil în zone pînă la care trebuie parcurse coturi, curbe etc.	Posibil în zona pînă la care se parcurg coturi, curbe etc.
Poziția obiectului	Cunoscută cu precizie, chiar și în cazul observării unor zone cu formă complicată	Incertă
Direcția de observare	Poate fi reglată la alegere	Reglabilă în măsură limitată
Calitate imagine	Optimă (obținută prin sistem de lentile)	Rezoluție satisfăcătoare (obținută prin sistem optic cu fibre de sticlă)
Intensitate de iluminare	Reglabilă în limite largi	Mai redusă decît la endoscopul rigid



a b

Fig. 18.21.

Scanned with OKEN Scanner

Posibilitatea efectuării examenului endoscopic și eficiența acestuia depind de o serie de factori, dintre care se reține: forma, dimensiunile și poziția zonei care trebuie examinată; distanța și poziția relativă a observatorului în raport cu locul care trebuie examinat; forma și suprafața secțiunii care trebuie examinată, respectiv a secțiunilor de acces; atmosfera, temperatura, eventual pericolul de explozie în zona care trebuie examinată.

În scopul creșterii eficienței examenului endoscopic, au fost imaginate endoscoape care, pe lîngă sistemul optic, sînt echipate cu dispozitive auxiliare. De exemplu, au fost construite dispozitive pentru măsurarea adîncimii zonelor de coroziune sau de uzură de la interiorul țevilor (fig. 18.21, *a*), dispozitive pentru poziționarea și centrarea obiectivului endoscopului flexibil în raport cu anumite repere din spațiile interioare examinate (fig. 18.21, *b*), au fost realizate sisteme de rotire la 360° a obiectivului pentru examinarea circulară fără mișcarea tubului endoscopului [26] etc.

BIBLIOGRAFIE

1. VON SCHUMANN, H. *Metallographie*, Leipzig, Verlag für Grundstoffindustrie, 1980.
2. * * * *Structura i svoistva metallov*, Kiev, Naukova dumka, 1970.
3. BUNIN, K. P., BARANOV A. A. *Metallografia*, Moskva, Metallurghia, 1970.
4. LIVȘIȚ, B. G. *Metallografia*, Moskva, Metallurghia, 1971.
5. TÄUBERT, P. Metallphysik Leipzig, B. G., Teubner Verlagsgesellschaft, 1963.
6. GĂDEA SUZANA, PETRESCU MARIA, *Metalurgie fizică și studiul metalelor*, București, Editura Didactică și Pedagogică, 1979.
7. CAHN, R. W. *Physical Metallurgy*, Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 1970.
8. CLARK, S. O. *Physical Metallurgy for engineers*, New York, Pergamon Press, 1955.
9. DENELI, A. K. *Defectoskopia metallov*, Moskva, Metallurghia, 1972.
10. * * * *Nondestructive Testing Standards*, ASTM Special Technical Publication 624, Philadelphia, 1976.
11. MOCANU, D. R. *Analiza experimentală a tensiunilor*, București, Editura Tehnică, 1977.
12. * * * *Metals Handbook*, Vol. 9, *Fractography and Atlas of Fractographs*, American Society for Metals, Metals Park Ohio, 1975.
13. * * * *Fractography — Microscopic Cracking Processes*, ASTM Special Technical Publication 600, Philadelphia, 1976.
14. PANA, T. *Aplicații inginerești ale mecanicii ruperilor*, București, Editura Tehnică, 1974.

Scanned with OKEN Scanner

15. CIOCLOV, D. *Mecanica ruperii materialelor.* București, Editura Tehnică, 1977.
16. TEODORESCU, M. *Studiul influenței stării de tensiuni și a vitezei de deformare asupra tendinței de rupere fragilă a oțelurilor.* Teză de doctorat, Institutul Politehnic București, 1973.
17. PAVEL, A. *Elemente de inginerie mecanică și întreținerea utilajelor tehnologice petrochimice,* Institutul de Petrol și Gaze Ploiești, 1976.
18. * * * *Prescripții tehnice pentru proiectarea, execuția, instalarea, exploatarea, repararea și verificarea recipientelor metalice stabile sub presiune,* București, Colecția ISCIR, 1982.
19. TEODORESCU, M. *Criterii de apreciere a siguranței construcțiilor metalice.* În: Metalurgia, 30, 5, 1978.
20. *NICHOLS, R. W. The use of overstressing technique to reduce the risk of subsequent brittle fracture.* În: British Welding Journal, *1,* 1968.
21. MOCANU, D. R. ș.a. *Încercarea materialelor, București,* Editura Tehnică, 1982.
22. * * * *Proposed Assessement Methods for Flaw with Respect to Failure by Brittle Fracture,* Doc. 11S/IIW 471-74, În: Welding in the World, **13**, *1/2,* 1975.
23. GURNEY, T. R. *Fatigue of Welded Structures.* Cambridge, London, New York, Melbourne, Cambridge University Press, 1979.
24. * * * *ASME Boiler and Pressure Vessel Code,* Section III, New York, 1974.
25. * * * *Fracture, Proceedings of the Second International Conference on Fracture,* Brighton, Chapman and Hall, 1969.
26. GERISCHER, K., CAVALER, K. *Forschung der Chemischen Anlagen mittels Endoscopen.* În: Chemische Industrie, *12,* 1982.
27. * * * *Prescripții tehnice privind examinarea cu ultrasunete a tablelor folosite în construirea și repararea instalațiilor mecanice sub presiune,* București, Colecția ISCIR, 1982.

Scanned with OKEN Scanner

TCMM

Seria de lucrări TCMM, cu caracter de instruire, informare și documentare pentru un cerc larg de lucrători din principalele ramuri industriale ale economiei naționale, este editată anual în 2–3 volume cu circa 300 pagini fiecare, avînd prețul antecalculat de ≈ 30 lei/volum.

În anul 1988 a fost prevăzută apariția a două volume, în care sînt abordate tematici din mari domenii:

- modernizarea producției industriale;
- concepte și strategii în promovarea progresului tehnic;
- calitate, fiabilitate, mentenabilitate;
- mașini, utilaje, echipamente, aparatură, SDV-uri;
- tehnologii moderne și de mare eficiență economică;
- interdisciplinaritate, note tehnico-documentare;
- cataloage de produse industriale.

La această publicație, dată fiind importanța pe care o prezintă lucrările seriei pentru rezolvarea problemelor modernizării întreprinderilor și producției industriale, abordînd tematici în strînsă legătură cu aceasta, este necesară rezervarea unor volume (fără avansarea prealabilă de fonduri bănești). Pentru aceasta trebuie să trimiteți din timp (cu cîteva luni înainte de apariția volumului respectiv) comenzile dv. cu caracter ferm (cu indicarea contului de virament pentru întreprinderi, institute de cercetare și proiectare, șantiere și instituții, respectiv adresa exactă, pentru cititori) Centrelor de Librării, județene sau orășenești, din raza teritoriului în care activați. Plata se face prin rambursare la primirea exemplarelor comandate.

EDITURA TEHNICA

Serie continuă de **studii și cercetări aplicative, sinteze documentare, actualități** și **materiale informative** consacrate **progresului tehnic contemporan** din domeniile ingineriei tehnologice, promovării noilor tehnologii, calității produselor, materialelor, mașinilor, utilajelor, echipamentelor, aparaturii și S.D.V.-urilor.

4

Lei 20,50

Scanned with OKEN Scanner